



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL



ADILEISSON GONDIM

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
DIMENSIONAMENTO GEOTÉCNICO DE SOLO GRAMPEADO

UBERLÂNDIA - MG
2018

ADILEISSON GONDIM

DIMENSIONAMENTO GEOTÉCNICO DE SOLO GRAMPEADO

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Jean Rodrigo Garcia.

UBERLÂNDIA – MG
2018

ADILEISSON GONDIM

DIMENSIONAMENTO GEOTÉCNICO DE SOLO GRAMPEADO

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal
de Uberlândia, como parte dos requisitos para a obtenção
do título de bacharel em Engenharia Civil.

Prof. Dr. Jean Rodrigo Garcia
Presidente da Banca – Orientador

Prof^a. Dr^a. Giovana Bizão Georgetti
Membro

Prof. Dr. Paulo Roberto Cabana Guterres
Membro

Aluno Adileisson Gondim
Orientando

UBERLÂNDIA – MG
2018

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, por me darem a oportunidade de estar onde estou, por serem apoio, incentivo e exemplo.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que sempre me deu força e inspiração para seguir em frente, me guiou e me protegeu.

Aos meus pais, por sempre me apoiarem independentemente das minhas escolhas.

Ao professor Jean Rodrigo Garcia, pelos ensinamentos, críticas, ideias, apoio e orientação neste trabalho.

Aos mestres que contribuíram com seus conhecimentos e se dedicaram para nos tornar bons profissionais.

Aos professores Giovana Bizão Georgetti e Paulo Roberto Cabana Guterres pela disponibilidade e participação na minha banca examinadora

Aos meus amigos, de dentro e de fora do mundo da Engenharia, por deixarem esta caminhada mais leve, em especial aos meus colegas do PET Engenharia Civil, que encararam este desafio ao meu lado nos momentos bons e ruins.

À empresa *Eiffage Résirep* e respectivo chefe da agência e engenheiros pelo conhecimento e experiência transmitidos.

À Universidade Federal de Uberlândia e à Faculdade de Engenharia Civil, por me proporcionarem oportunidades únicas na minha vida acadêmica e cederem meios para a realização deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho apresenta o dimensionamento de uma escavação executada em solo grampeado. O solo grampeado é uma melhoria de solo e tem a função de promover a estabilidade de um maciço. A escavação estudada tem 5 m de altura com inclinação de 90° em relação ao eixo horizontal num solo de características geotécnicas da cidade de Uberlândia-MG. A partir do resultado obtido no pré-dimensionamento foram estudados dois cenários: um maciço com grampos de comprimento constante ao longo da altura da escavação, e outro com grampos que variam o seu comprimento nas últimas fileiras. A solução mais econômica foi adotada para o projeto e nela foram feitas análises de estabilidade por equilíbrio limite e de tensão-deformação por elementos finitos (verificação dos deslocamentos). Acoplada às análises de estabilidade, foram utilizadas ferramentas estatísticas para a obtenção do fator de segurança probabilístico (*FS mean*) e da probabilidade de falha (PF). Para a análise da estabilidade ao deslizamento e dos deslocamentos horizontais, foram utilizados, respectivamente, os *softwares Slide 2018* e *RS²* da plataforma *Rocscience*. Esta análise numérica permitiu concluir que ambas as soluções apresentadas apresentam estabilidade ao deslizamento superior à exigida pela ABNT NBR 11682:2009 e deslocamentos horizontais menores que os admissíveis.

Palavras-chave: Solo Grampeado, Equilíbrio Limite, Análise Numérica, Estabilidade.

ABSTRACT

This work presents the design of soil nailing executed in an excavation. The stapled soil is a soil improvement and has the function of promoting stability to the slope. The studied excavation is 5 m high with 90° slope in relation to the horizontal axis in a soil of geotechnical characteristics from the city of Uberlândia-MG. From the result obtained in the pre-dimensioning, two scenarios were studied: the first one with nails of constant length along the height of the excavation, and a second one with nails that vary its length in the last rows. The most economical solution was chosen for this project and stability analyzes were made by limit equilibrium and stress-strain by finite elements (displacement verification). Coupled with the stability analyzes, statistical tools were used to obtain the probabilistic safety factor (FS mean) and probability of failure (PF). In order to analyze the sliding stability and the horizontal displacements, the software *Slide 2018* and *RS²* of the Rocscience platform were used. This numerical analysis allowed to conclude that both solutions presented stability to the sliding superior to that required by Brazilian standards (ABNT NBR 11682: 2009) and horizontal displacements smaller than the allowable ones.

Keywords: Soil Nailing, Limit Equilibrium, Numerical Analysis, Stability.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Solo Grampeado..... | 13 |
| Figura 2 – Exemplo de grampo | 14 |
| Figura 3 – Etapas de execução do solo grampeado | 16 |
| Figura 4 – Espaçamentos entre grampos | 17 |
| Figura 5 – Exemplos de distribuição dos grampos no solo grampeado | 18 |
| Figura 6 – Redução no comprimento dos grampos | 19 |
| Figura 7 – Resultado de testes para resistência de aderência (q_s) | 20 |
| Figura 8 – Superfície de ruptura local | 23 |
| Figura 9 – Falhas devido à resistência à tração e resistência de aderência do grampo .. | 23 |
| Figura 10 – Superfície de ruptura local: distâncias | 24 |
| Figura 11 – Ruptura local tipo cunha | 24 |
| Figura 12 – Superfície de ruptura global..... | 25 |
| Figura 13 – Superfície de ruptura mista | 25 |
| Figura 14 – Rupturas de face..... | 26 |
| Figura 15 – Exemplos de ábacos de estabilidade de pré-dimensionamento..... | 27 |
| Figura 16 – Gráficos de correção do fator de segurança | 28 |
| Figura 17 – Forças atuantes em uma fatia pelo Método de Fellenius | 28 |
| Figura 18 – Lamela de Bishop..... | 29 |
| Figura 19 – Valores típicos de coeficientes de variação | 32 |
| Figura 20 – Confiabilidade x Probabilidade de Ruptura | 34 |
| Figura 21 – Escavação..... | 34 |
| Figura 22 – Perfil do terreno..... | 35 |
| Figura 23 – Perfil escavado e camadas do solo | 36 |
| Figura 24 – Escavação com comprimento dos grampos constante | 40 |
| Figura 25 – Escavação com comprimento dos grampos variável | 40 |
| Figura 26 – Valores de F.S para maciço não reforçado..... | 41 |
| Figura 27 – Escavação com solo grampeado – Pré-dimensionamento | 42 |
| Figura 28 – Ábaco para pré-dimensionamento de solo grampeado. Escavações verticais com relação $L/H = 0,8$ | 43 |
| Figura 29 – Análise da estabilidade da escavação – Pré-dimensionamento..... | 44 |
| Figura 30 – Resultados da estabilidade da contenção – $L/H = 0,8$ e L constante | 46 |

| | |
|---|----|
| Figura 31 – Resultados da estabilidade da contenção – $L/H = 0,8$ e L variável..... | 48 |
| Figura 32 – Novo comprimento dos grampos – $L/H = 1,2$ e L variável | 49 |
| Figura 33 – Resultados da estabilidade da contenção – $L/H = 1,2$ e L variável..... | 49 |
| Figura 34 – Passos de escavação e malha | 53 |
| Figura 35 – Deslocamentos horizontais – 1º passo | 53 |
| Figura 36 – Deslocamentos horizontais – 2º passo | 54 |
| Figura 37 – Deslocamentos horizontais – 3º passo | 54 |
| Figura 38 – Deslocamentos horizontais – 4º passo | 55 |
| Figura 39 – Deslocamentos horizontais em cada passo | 55 |
| Figura 40 – Deslocamentos horizontais máximos obtidos e admissíveis..... | 56 |
| Figura 41 – Deslocamentos verticais – passos 1 a 4..... | 57 |
| Figura 42 – Deslocamento vertical – sem escavação | 57 |
| Figura 43 – Deslocamento vertical efetivo – passos 1 a 4..... | 58 |
| Figura 44 – Tensão σ_3 | 58 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Altura das etapas de escavação..... | 16 |
| Tabela 2 – Valores de R | 19 |
| Tabela 3 – Valores do coeficiente α | 21 |
| Tabela 4 – Valores do coeficiente K (MPa) | 22 |
| Tabela 5 – Valores do coeficiente de Poisson em função do tipo de solo..... | 22 |
| Tabela 6 – Resumo dos parâmetros geotécnicos | 36 |
| Tabela 7 – Comprimento dos grampos para $L/H = 0,8$ | 37 |
| Tabela 8 – Valores da resistência de aderência “qs” e resistência de aderência unitária “t” | 38 |
| Tabela 9 – Parâmetros estatísticos do solo e do grampo | 39 |
| Tabela 10 – Valores de FS e PF – Maciço não reforçado | 41 |
| Tabela 11 – Valores de FS e PF – Pré-dimensionamento | 44 |
| Tabela 12 – Valores de FS e PF – $L/H = 0,8$ e L constante | 47 |
| Tabela 13 – Valores de FS e PF – $L/H = 0,8$ e L variável..... | 48 |
| Tabela 14 – Resumo dos valores de FS e PF – $L/H = 1,2$ e L variável..... | 50 |
| Tabela 15 – Planilha de custos dos materiais – Contenção 1 | 51 |
| Tabela 16 – Planilha de custos dos materiais – Contenção 2 | 51 |
| Tabela 17 – Número de elementos e nós da malha de elementos finitos | 52 |

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|---------------------|---|
| A | Área |
| α | Coefficiente empírico para cálculo do módulo de elasticidade |
| β | Índice de confiabilidade |
| γ | Peso específico do solo |
| CV | Coefficiente de variação |
| c | Coesão |
| c' | Coesão efetiva |
| D | Diâmetro do grampo |
| d | Densidade de grampeamento |
| Δx | Largura da lamela |
| δ_h | Deslocamento horizontal |
| E | Módulo de elasticidade |
| FS | Fator de segurança |
| f_{yk} | Resistência à tração característica do aço |
| H | Altura da escavação |
| i | Inclinação da escavação |
| L | Comprimento do grampo |
| K | Coefficiente empírico para cálculo do módulo de elasticidade |
| k | Coefficiente de empuxo de terra |
| N | Relação de estabilidade (ábacos Clousterre) |
| \overline{N} | Força normal efetiva atuante na base da lamela |
| N_{SPT} | Número de golpes do SPT (ensaio de penetração padrão) |
| P | Peso do solo |
| PF | Probabilidade de falha |
| q_c | Resistência de ponta do cone |
| q_s | Resistência de aderência |
| R | Coefficiente de redução do comprimento dos grampos |
| R_T | Resistência de ruptura do grampo (<i>Tensile Resistance</i>) |
| R_{PO} | Resistência de arrancamento do grampo (<i>Pullout resistance</i>) |
| $Rel_{m\acute{a}x}$ | Relativo máximo |
| $Rel_{m\acute{i}n}$ | Relativo mínimo |
| $R_{T,adm}$ | Resistência a tração admissível |
| S_v | Espaçamento vertical dos grampos |
| S_h | Espaçamento horizontal dos grampos |
| S_{V_0} | Distância entre crista da escavação e a primeira fileira de grampos |
| S_{V_n} | Distância entre pé da escavação e a última fileira de grampos |
| σ | Desvio padrão |
| T | Resistência ao cisalhamento mobilizada |
| t | Resistência de aderência unitária (<i>Bond strength</i>) |
| U | Pressão neutra na base |
| u | Pressão neutra |
| v | Coefficiente de Poisson |
| ϕ | Ângulo de atrito interno |
| ϕ' | Ângulo de atrito interno efetivo |
| \bar{x} | Média da população |

SUMÁRIO

| | | |
|--------|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 11 |
| 1.1 | Justificativa | 11 |
| 1.2 | Objetivos | 12 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 12 |
| 2.1. | O Solo Grampeado..... | 12 |
| 2.1.1. | Componentes..... | 13 |
| 2.1.2. | Normalização | 15 |
| 2.1.3. | Método construtivo | 15 |
| 2.1.4. | Especificações do projeto..... | 17 |
| 2.1.5. | Interação solo-grampo..... | 20 |
| 2.2. | Parâmetros geotécnicos..... | 21 |
| 2.2.1. | Peso específico e Coesão | 21 |
| 2.2.2. | Ângulo de atrito | 21 |
| 2.2.3. | Modulo de elasticidade (Módulo de Young) | 21 |
| 2.2.4. | Coefficiente de Poisson | 22 |
| 2.3. | Superfícies críticas de ruptura..... | 22 |
| 2.3.1. | Superfície de Ruptura Local | 22 |
| 2.3.2. | Superfície de Ruptura Global..... | 25 |
| 2.3.3. | Superfície de Ruptura Mista | 25 |
| 2.3.4. | Rupturas de face..... | 25 |
| 2.4. | Análises Determinísticas..... | 26 |
| 2.4.1. | Pré-dimensionamento – Método Francês..... | 26 |
| 2.4.2. | Método de Fellenius (<i>Ordinary</i>) | 28 |
| 2.4.3. | Método de Bishop Simplificado | 29 |
| 2.5. | Análises Probabilísticas | 30 |
| 2.5.1. | FS Determinístico e Probabilístico | 30 |
| 2.5.2. | Variabilidade do solo | 31 |
| 2.5.3. | Métodos de simulação estatística..... | 32 |

| | |
|---|----|
| 2.5.4. Tipos de análises | 32 |
| 2.5.5. Distribuição de probabilidade | 33 |
| 2.5.6. Probabilidade de Falha..... | 33 |
| 2.5.7. Índice de Confiabilidade | 33 |
| 3 DIMENSIONAMENTO | 34 |
| 3.1. Dados da geometria da escavação | 34 |
| 3.2. Parâmetros geotécnicos e cargas atuantes..... | 35 |
| 3.3. Dados da geometria e propriedades do solo grampeado..... | 36 |
| 3.3.1. Grampos | 36 |
| 3.3.1. Espaçamentos entre grampos | 37 |
| 3.3.2. Variação do comprimento dos grampos..... | 37 |
| 3.3.3. Resistência de aderência unitária | 37 |
| 3.3.4. Resistência à tração da barra de aço..... | 38 |
| 3.3.5. Paramento vertical..... | 38 |
| 3.3.6. Módulo de Elasticidade..... | 38 |
| 3.3.7. Parâmetros estatísticos | 39 |
| 3.4. Análises de estabilidade | 41 |
| 3.4.1. Pré-dimensionamento..... | 42 |
| 3.4.2. Verificação da estabilidade local e global..... | 45 |
| 3.5. Análises dos deslocamentos (Etapa 4)..... | 52 |
| 3.5.1. Deslocamentos horizontais | 53 |
| 3.5.2. Deslocamentos verticais..... | 57 |
| 3.5.3. Tensão σ_3 | 58 |
| 4 CONCLUSÃO | 59 |
| 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 59 |
| ANEXO A – Relatório da análise de estabilidade da escavação sem reforço.... | 62 |
| APÊNDICE B – Relatório da análise de estabilidade da escavação – pré-dimensionamento..... | 63 |

| | |
|---|----|
| APÊNDICE C – Relatório da análise de estabilidade da escavação – $L/H = 0,8$, comprimento dos grampos constante | 64 |
| APÊNDICE D – Relatório da análise de estabilidade da escavação – $L/H = 0,8$, comprimento dos grampos variável..... | 65 |
| APÊNDICE E – Relatório da análise de estabilidade da escavação – $L/H = 1,2$, comprimento dos grampos variável | 66 |
| APÊNDICE F – Relatórios da análise de deslocamentos das escavações..... | 67 |
| APÊNDICE G – Quantitativo e custo dos materiais | 68 |
| ANEXO A – Parâmetros médios do solo | 69 |

1 INTRODUÇÃO

Com o constante aumento da taxa de ocupação do solo pelo ser humano, torna-se imprescindível a evolução das técnicas de construção que permitirão construções mais rápidas e seguras, que por sua vez desenvolverão o espaço urbano de uma forma mais planejada e organizada. O solo grampeado é uma técnica de contenção de maciços que está inserido nesse contexto, pois atualmente tem sido amplamente utilizada no Brasil e no mundo por ser de rápida execução e apresentar alto desempenho. Trata-se da inserção de estruturas semirrígidas denominadas “grampos” (barra de aço envolta por calda de cimento) numa estrutura a ser estabilizada, como túneis e taludes, com posterior realização de um paramento em concreto projetado mais o sistema de drenagem.

A adoção de hipóteses simplificadoras no dimensionamento de obras geotécnicas, como a da homogeneidade das camadas do solo, onde os parâmetros geotécnicos são constantes ao longo de toda a extensão do maciço, incorrem em resultados que nem sempre são precisos e representativos da condição *in situ*. Como alternativa pode-se adotar ferramentas numéricas com base em análises estatísticas que avaliam a estabilidade do maciço escavado variando os parâmetros do solo de acordo com sua dispersão específica.

Sendo assim, este trabalho tem a finalidade de dimensionar a estabilização de uma escavação de 5 metros de altura executada em solo grampeado, considerando aspectos técnicos e econômicos, comparando os resultados obtidos em análises convencionais/aproximadas com resultados probabilísticos. Foram realizadas análises de estabilidade por equilíbrio limite e de tensão-deformação por elementos finitos (análise dos deslocamentos) por meio dos softwares *Slide* e *RS²*, respectivamente, da plataforma *Rocscience*.

1.1 Justificativa

O desafio da engenharia geotécnica em situações de contenções de escavações é o de encontrar a melhor solução técnica e econômica levando em conta a segurança, a viabilidade de execução e a competitividade no custo. Neste caso, a contenção ou o reforço do solo deve ser projetado para suportar os esforços do maciço sem afetar o entorno ou causar danos à vizinhança.

O emprego de ferramentas numéricas e de estudos probabilísticos no projeto de estruturas geotécnicas servem, além de complementar o estudo determinístico, fornecer ao projetista um maior entendimento da estabilidade referente às diferentes alternativas de solução técnica (FABRICIO, 2006).

1.2 Objetivos

Este trabalho de conclusão de curso contempla o cálculo, pré-dimensionamento, dimensionamento e análise uma escavação estabilizada em solo grampeado. Para tanto, são estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Apresentar especificações para o projeto do solo grampeado;
- Apresentar os conceitos e alguns modelos de cálculo estabelecidos pela teoria de equilíbrio limite;
- Apresentar método de pré-dimensionamento
- Dimensionar o maciço quanto à estabilidade (deterministicamente e probabilisticamente);
- Verificar o maciço quanto aos deslocamentos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A base teórica necessária para a elaboração deste Trabalho de Conclusão de Curso será abordada nos próximos itens. São elas: O solo grampeado e seus componentes, disposições geométricas, métodos de pré-dimensionamento e dimensionamento, superfícies críticas de ruptura e análises determinísticas e probabilísticas.

2.1. O Solo Grampeado

Essencialmente, o solo grampeado consiste numa técnica de estabilização de taludes, por meio da inserção de elementos estruturais passivos (grampos) em taludes naturais ou artificiais, seguido da execução de um paramento de concreto projetado e estruturas de drenagem. Os grampos promovem a estabilização geral do maciço, o concreto projetado dá estabilidade local junto ao paramento e a drenagem age em ambos os casos (SOLOTRAT, 2018a). A Figura 1 mostra um exemplo em execução de um talude contido por meio do solo grampeado.

Figura 1 – Solo Grampeado



Fonte: Solotrat (2018b)

2.1.1. Componentes

2.1.1.1. Grampos

O grampo é constituído por um chumbador envolvido em calda de cimento. O chumbador é o elemento estrutural do grampo, sendo ele o responsável por resistir aos esforços de tração e cisalhamento. Ele não é protendido, o que o caracteriza como elemento passivo. Segundo Ribeiro (2015), o grampo tem a finalidade de distribuir cargas ao longo de todo o seu comprimento interagindo com o terreno circunvizinho, podendo parte da carga mobilizada ser absorvida pela cabeça.

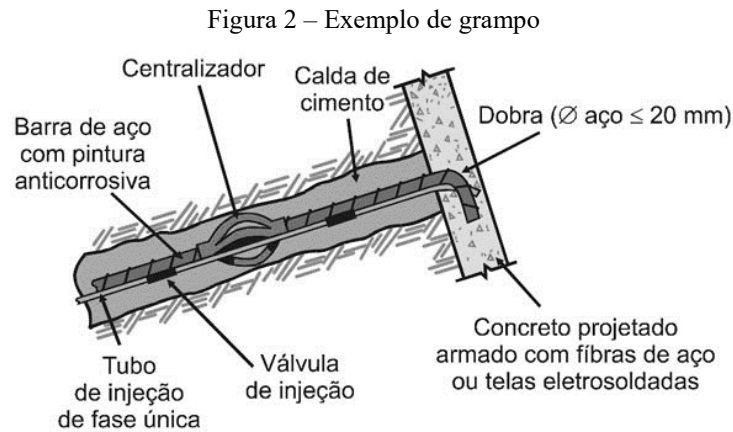
Os grampos podem ser cravados (*driven nail*), sem injeção de calda de cimento, ou perfurados (*grouted nail*), com a injeção de calda de cimento.

No caso dos perfurados, as perfurações são feitas por meio de máquinas perfuratrizes. Estas máquinas geralmente são leves, o que possibilita a execução da técnica em locais de difícil acesso. Os furos para os chumbadores têm sempre inclinação abaixo da horizontal, variando normalmente entre 5° e 30° (SOLOTRAT, 2018a).

No Brasil é comum o uso de barra de aço convencional como chumbador, mas podendo também ser utilizado outros materiais, tais como materiais sintéticos, cantoneiras e perfis. As barras são normalmente de pequenos diâmetros, de 10 a 20 mm, contando com proteção anticorrosiva e devem ser dobradas na extremidade, podendo porcas serem utilizadas quando o

diâmetro da barra não permite a sua dobra. Além disso, o uso de centralizadores a cada 2 metros é exigido, para que a barra se mantenha no centro do furo durante a fase de injeção.

A Figura 2 ilustra um grampo do tipo perfurado.



Fonte: Metálica (2018)

A injeção dos grampos é feita através de tubo de injeção colocado até o fim da perfuração, promovendo a limpeza do furo de baixo para cima através da injeção de água, e, após limpo se inicia a injeção da bainha com calda de cimento, com bombas de alta pressão. Depois de certificar a qualidade da nata, interrompe-se a injeção e se introduz o chumbador (INFRASOLO, 2018). A calda de cimento possui relação água cimento próxima a 0,5 em peso.

2.1.1.2. Paramento

O paramento consiste no revestimento do talude por meio da aplicação de concreto projetado, de painéis pré-moldados, ou ainda, de vegetação (normalmente em taludes naturais com inclinações moderadas). O mais comum é o emprego do concreto projetado, sendo esta uma composição de cimento, areia, pedriscos, água e aditivos, podendo ser adicionado fibras metálicas, sintéticas ou termoplásticas (em substituição da tela metálica). O concreto é então conduzido por ar comprimido desde o equipamento de projeção até o local de aplicação, através de mangote (SOLOTRAT, 2018c).

A projeção do concreto se dá por via seca, quando a água é adicionada a mistura apenas momentos antes da projeção, já no bico de projeção; ou via úmida, que é quando a mistura já está previamente preparada e é apenas projetada.

Segundo Ribeiro (2015), quando aplicadas telas metálicas eletrossoldadas, usualmente são adotadas taxas variando entre 10 e 60 kg/m³.

2.1.1.3. Drenagem

O sistema de drenagem do solo grampeado objetiva oferecer um fluxo organizado para as águas internas ou externas que a ele convergem (SOLOTRAT, 2018a). O sistema de drenagem é composto pelos drenos de drenagem profunda, de paramento e de superfície.

Os drenos sub-horizontais profundos (DHP) são tubos lineares perfurados ou micro ranhurados que são inseridos no maciço, de comprimento entre 6 e 18 m que tem a função de interceptar as águas antes do seu afloramento no paramento. Os drenos de paramento, por sua vez, realizam uma drenagem nas proximidades da parede. Podem ser tubos do tipo barbacã, que são horizontais e drenam pontualmente ou drenos lineares verticais contínuos, executados simultaneamente aos passos da escavação. O dreno de superfície são canaletas que são instaladas na crista e no pé do talude ou escavação.

2.1.2. Normalização

Ainda não há normas específicas no Brasil para o dimensionamento do solo grampeado, embora, no momento de redação deste trabalho, esteja em fase de elaboração um texto base para a norma brasileira relativo ao “Solo Grampeado em Cortes”.

A *Federal Highway Administration* (FHWA), divisão ligada ao Departamento de Transporte dos Estados Unidos, é quem dá as diretrizes desse tipo de reforço de solo no país. Na França, o *French National Project CLOUTERRE*, ocorrido entre os anos de 1986 e 1990, realizou diversas pesquisas que culminaram na elaboração de um documento (*Recommandations Clouterre 1991*) que ainda serve de base para a compreensão do comportamento e dimensionamento solo grampeado.

2.1.3. Método construtivo

A execução do solo grampeado é feita em etapas, conforme o corte do terreno for sendo realizado (para taludes artificiais).

Cada etapa (ou passo) é realizada na sequência descrita abaixo, sempre na direção descendente, exceto se o talude já estiver totalmente cortado, podendo então escolher a direção ascendente ou descendente, conforme conveniência.

- a) ESCAVAÇÃO: Uma altura entre 1 e 2 m é escavada, dependendo do tipo do solo (Tabela 1).

Tabela 1 – Altura das etapas de escavação

| Tipo de solo | Incremento de escavação |
|--------------|---|
| Pedregulho | 0,5 m – com coesão aparente 1,5 m – solo com cimentação |
| Areia | 1,2 m – medianamente compacta, com coesão aparente 1,5 m – compacta, com coesão aparente 2,0 m – com cimentação |
| Silte | 1,2 m 2,0 m – função do teor de umidade |
| Argila | 1,5 m – normalmente consolidada 2,5 m – sobreadensada |

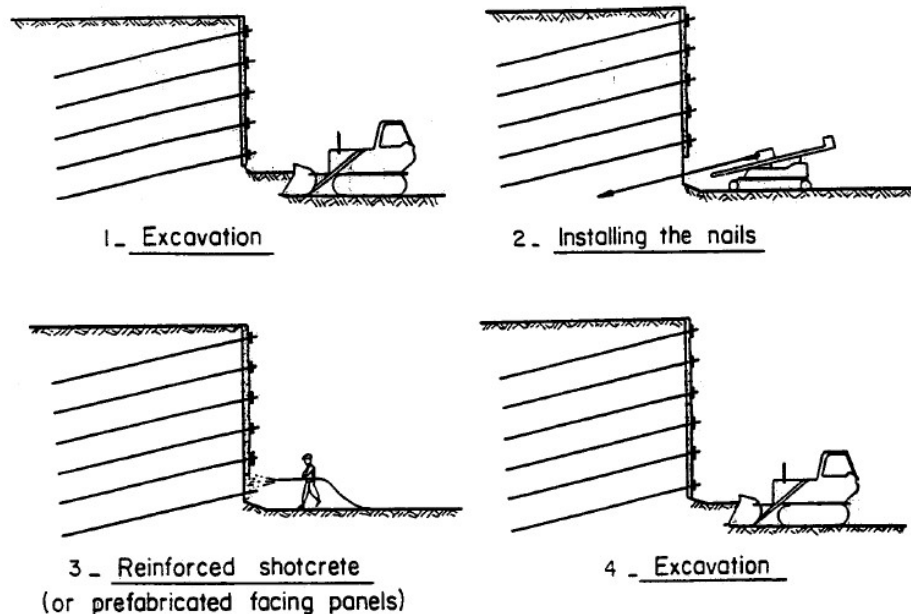
Fonte: Gässler (1990)

- b) INSERÇÃO DOS GRAMPOS: Os grampos são cravados ou perfurados e posteriormente injetados.
- c) PARAMENTO: Uma tela soldada (armação) é colocada junto à face do talude para posterior projeção de concreto, por via seca ou úmida. Ainda se tem a opção de instalar painéis pré-fabricados.

Depois segue-se novamente para o próximo passo, que se inicia com a nova escavação.

A Figura 3 ilustra os passos aqui detalhados.

Figura 3 – Etapas de execução do solo grampeado



Fonte: Clouterre (1991)

2.1.4. Especificações do projeto

Aqui foram apresentadas as especificações para o projeto do solo grampeado segundo a FHWA-NHI-14-007 (2015), embora para alguns itens tenha sido citadas recomendações do Clouterre (1991). Em alguns momentos as informações são sobrepostas, apresentando determinações diferentes para o mesmo parâmetro, mas isto é justificado pelo fato de serem duas ou mais fontes diferentes.

2.1.4.1. Espaçamentos entre grampos (S)

O espaçamento S entre os grampos deve respeitar alguns limites e especificações, sendo eles:

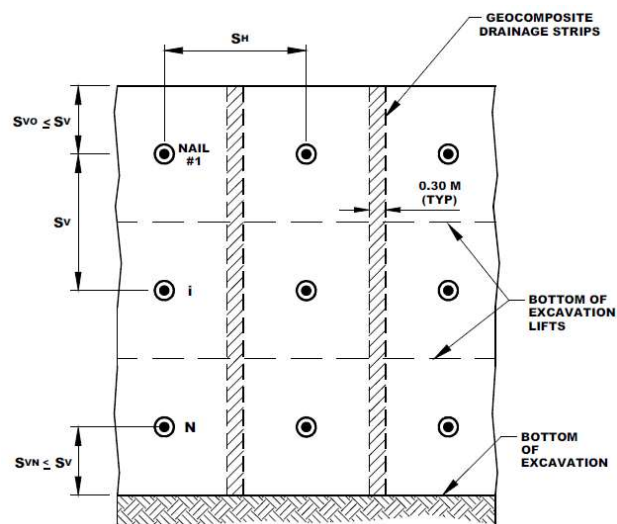
- O espaçamento vertical deve ser aproximadamente igual ao espaçamento horizontal ($S_V \approx S_H$);
- Recomenda-se que o valor de S esteja entre 1,20 e 1,80 m, sendo normalmente de 1,50 m, mas nunca menor do que 1,00 m;
- O produto entre S_V e S_H deve estar entre 3,30 e 3,90 m².

2.1.4.2. Outros espaçamentos (S_{VO} e S_{VN})

O espaçamento S_{VO} (Figura 4) é determinado a partir do ponto mais alto da escavação até a primeira fileira de grampos. O seu valor deve estar entre 0,60 e 1,00 m, sendo que S_{VO} é sempre menor que S_V .

O espaçamento entre a última fileira de grampos e o pé da escavação é indicado por S_{VN} e este deve estar entre 0,60 e 0,90 m, sendo que S_{VN} também é sempre menor que S_V .

Figura 4 – Espaçamentos entre grampos



Fonte: FHWA-NHI-14-007 (2015)

2.1.4.3. Inclinação dos grampos

A inclinação dos grampos é em relação à horizontal e deve estar compreendida entre 10° e 20°, sendo comumente empregado o valor de 15°. Entretanto, este valor não deve ser menor que 10°, pois pode criar bolsas de ar durante as injeções que consequentemente diminuiriam o valor da resistência de aderência (*pullout resistance*).

2.1.4.4. Comprimento dos grampos (L)

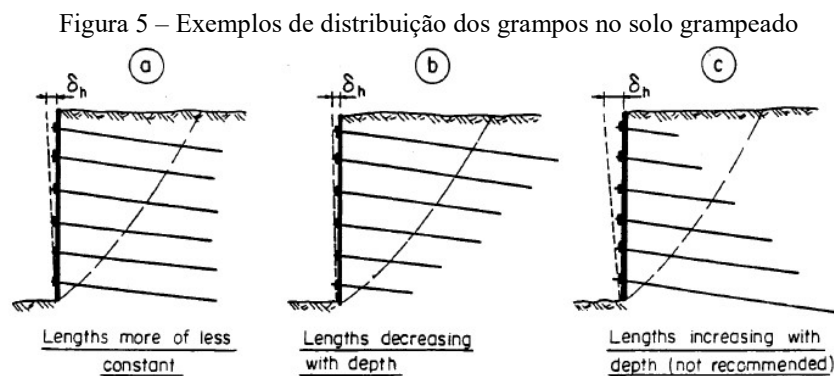
Para pré-dimensionamentos, deve-se utilizar aproximadamente o valor de 0,7 vezes a altura da escavação (H). Recomenda-se que o seu valor esteja entre 0,5 H e 1,2 H, embora sejam raras as situações em que o comprimento dos grampos que sejam menores do que 0,6 H. Se necessários valores de L maior do que 1,2 H, deve-se reavaliar se o solo grampeado é a melhor solução para o reforço do maciço (CLOUTERRE, 1991).

Para Clouterre (1991), o comprimento deve obedecer às seguintes especificações:

- $0,5 \leq L \leq 0,7 H$ para grampos cravados, quando estes estão bem próximos entre si (cerca de 1 ou 2 grampos por metro quadrado);
- $0,8 \leq L \leq 1,2 H$ para grampos perfurados, quando estes possuem uma distribuição de aproximadamente 1 grampo para cada 2,5 a 6 m².

2.1.4.5. Variação do comprimento dos grampos

O comprimento dos grampos pode ser diminuído conforme aproxima-se da base da escavação. Manter o comprimento constante (Figura 5.a) é indicado pela praticidade durante a execução, mas é mais econômico quando se diminui o comprimento onde o maciço é menos sollicitado (Figura 5.b). Entretanto, diminuir o comprimento dos grampos no sentido da base para o topo do talude (Figura 5.c) não é recomendado (CLOUTERRE, 1991).



Fonte: Clouterre (1991)

Normalmente, o valor do fator de segurança reduz quando também se diminui o comprimento dos grampos da última fileira. Como solução, a FHWA-NHI-14-007 (2015) recomenda aumentar o comprimento dos grampos da primeira fileira, que também reduzirá o deslocamento horizontal (δ_h) total do maciço.

Um método proposto por Byrne et al. (1998) é apresentado a seguir. O comprimento da metade superior dos grampos é constante e os comprimentos dos grampos da metade inferior da contenção é calculado conforme mostrado abaixo:

- O último grampo (grampo “n”) tem comprimento de $L_n = L \times R$. Os valores do coeficiente R varia conforme o tipo de solo, como pode ser verificado na tabela abaixo:

Tabela 2 – Valores de R

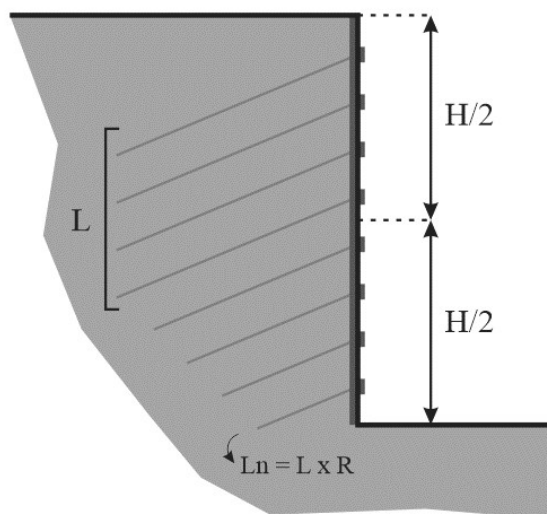
| Tipo de solo | R |
|--|-------------------------|
| Solos granulares muito densos e de granulação grossa | $0,15 \leq R \leq 0,30$ |
| Areia siltosa, areia, areia fofa | $0,25 \leq R \leq 0,40$ |
| Solos de granulação fina | $0,30 \leq R \leq 0,45$ |

Fonte: FHWA-NHI-14-007 (2015)

- Calculado o comprimento do último grampo, para os demais grampos o comprimento será determinado por interpolação linear entre o valor L e L_n .

A Figura 6 ilustra como é feita essa redução.

Figura 6 – Redução no comprimento dos grampos

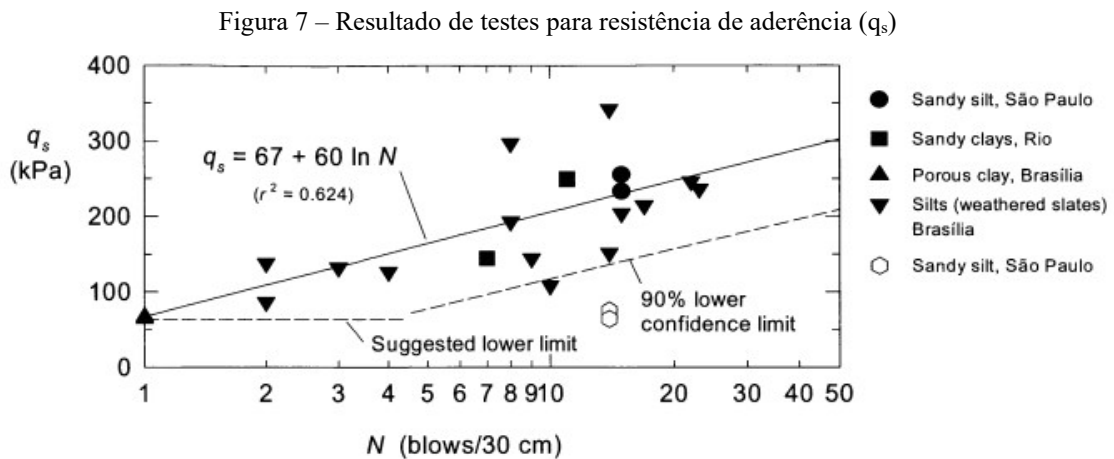


Fonte: Autor (2018)

2.1.5. Interação solo-grampo

Um importante parâmetro necessário no dimensionamento do solo grampeado é a resistência de aderência (q_s), que está relacionada à mobilização do atrito no contato dos grampos com o solo circundante. Quanto maior o atrito solo-grampo, melhor será o desempenho.

Ortigão e Sayao (2004) propõem uma equação que correlaciona N_{SPT} e q_s , obtida a partir de amostras de ensaios de arrancamento. Estes ensaios ocorreram em São Paulo, Rio de Janeiro e Brasília, executados em furos com diâmetros entre 75 e 150 mm com injeção de calda de cimento sem pressão. Nota-se que o limite mínimo sugerido para q_s é de 50 kPa, mesmo para solos fracos com N_{SPT} igual a 1.



$$q_s = 67 + 60 \times \ln N_{SPT} \quad \text{Equação 1}$$

Para a obtenção da resistência de aderência unitária (t), que é a força de arrancamento que o grampo gera por metro de grampo, multiplica-se q_s pela área lateral total do grampo e divide pelo seu comprimento total. Após o devido desenvolvimento da equação, obtém-se a equação abaixo:

$$t = q_s \times \pi \times D \quad \text{Equação 2}$$

Onde D é o diâmetro do grampo, em metros.

2.2. Parâmetros geotécnicos

2.2.1. Peso específico e Coesão

O peso específico (ρ) e a coesão (c) dos solos foram determinados através da tabela disponível no Anexo A, que reúne valores médios propostos por Joppert Jr. (2007) para parâmetros geotécnicos do solo (como peso específico e coesão) para diversos tipos de solo.

2.2.2. Ângulo de atrito

Para a estimativa de ϕ , Teixeira e Godoy (1996) menciona a seguinte correlação empírica com o N_{SPT} :

$$\Phi = \sqrt{20 \times \bar{N}_{SPT} + 15^\circ} \quad \text{Equação 3}$$

2.2.3. Módulo de elasticidade (Módulo de Young)

O módulo de elasticidade pode ser calculado pela Equação 4 (Teixeira e Godoy, 1996):

$$E = \alpha \times q_c \quad \text{Equação 4}$$

Sendo q_c , determinado pela Equação 5, obtém-se a Equação 6.

$$q_c = K \times N_{SPT} \quad \text{Equação 5}$$

$$E = \alpha \times K \times N_{SPT} \quad \text{Equação 6}$$

O valor de α pode ser encontrado na Tabela 3, e o valor de K é apresentado na Tabela 4.

Tabela 3 – Valores do coeficiente α

| Solo | α |
|--------|----------|
| Areia | 3 |
| Silte | 5 |
| Argila | 7 |

Fonte: Teixeira e Godoy (1996)

Tabela 4 – Valores do coeficiente K (MPa)

| Solo | K (MPa) |
|-----------------------|----------------|
| Areia com pedregulhos | 1,10 |
| Areia | 0,90 |
| Areia siltosa | 0,70 |
| Areia argilosa | 0,55 |
| Silte arenoso | 0,45 |
| Silte | 0,35 |
| Argila arenosa | 0,30 |
| Silte argiloso | 0,25 |
| Areia siltosa | 0,20 |

Fonte: Teixeira e Godoy (1996)

2.2.4. Coeficiente de Poisson

Teixeira & Godoy (1996) também apresentam valores típicos para o coeficiente de Poisson do solo (ν), reproduzidos na Tabela 5.

Tabela 5 – Valores do coeficiente de Poisson em função do tipo de solo

| Solo | ν |
|----------------------|-------------------------|
| Areia pouco compacta | 0,2 |
| Areia compacta | 0,4 |
| Silte | 0,3-0,5 |
| Argila saturada | 0,4-0,5 |
| Argila não saturada | 0,1-0,3 |

Fonte: Teixeira e Godoy (1996)

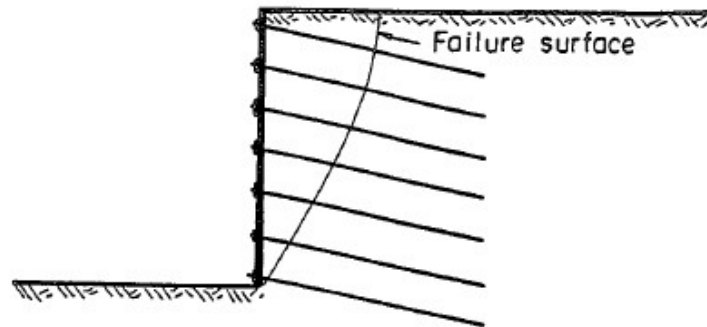
2.3. Superfícies críticas de ruptura

Quando se trata da ruptura de maciços, existem diversos tipos de superfícies de ruptura possíveis que são normalmente agrupados em: superfícies de rupturas globais, locais (ou de face) e mistas. Abaixo são apresentados os 4 tipos de superfícies que serão utilizados no dimensionamento (global, 0,3 H, 0,4 H e cunha).

2.3.1. Superfície de Ruptura Local

A superfície de ruptura local é também chamada de ruptura interna (Figura 8). A superfície intercepta os pontos de maiores tensões do grampo, causando a ruptura ou o arrancamento deste.

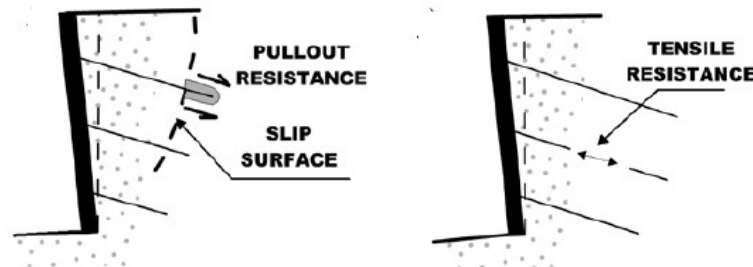
Figura 8 – Superfície de ruptura local



Fonte: Clouterre (1991)

Ela pode acontecer por diversos motivos: durante a fase de escavação, a altura de escavação pode ser muito alta e assim causar instabilidade, ou ainda, pode ocorrer o fenômeno de “*piping*” quando o grampo está em contato com o lençol freático, levando a uma baixa aderência na interface grampo-solo causada pela presença de água. Durante a vida útil da contenção ocorrer a ruptura do grampo (*tensile resistance* “ R_T ”) ou ainda o arrancamento dos grampos também devido à baixa aderência entre grampo-solo (*pullout resistance* “ R_{PO} ”). Veja Figura 9.

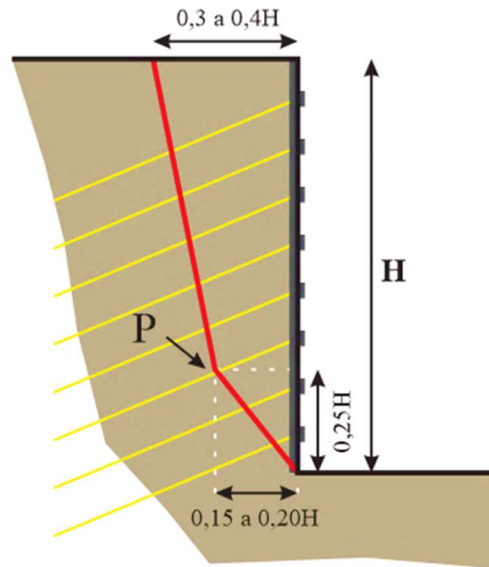
Figura 9 – Falhas devido à resistência à tração e resistência de aderência do grampo



Fonte: FHWA-NHI-14-007 (2015)

Clouterre (1991) define uma distância a partir do paramento a qual está localizada o início da potencial superfície de ruptura. Esta distância está entre 0,3 e 0,4 vezes o valor da altura da escavação (H). A superfície então desce verticalmente até um ponto P que possui coordenadas definidas pela FHWA (2015) e Ribeiro (2015). A partir do pé da escavação, a abcissa deste ponto está entre 0,15 a 0,20 vezes o valor da altura da escavação (FHWA, 2015). Para Ribeiro (2015), esse valor é de 0,20 vezes H . Ele ainda define a ordenada do ponto, que é de 0,25 H . Após passar por esse ponto P , a superfície encontra o pé da escavação. A Figura 10 mostra as especificações descritas acima para esse tipo de superfície de ruptura.

Figura 10 – Superfície de ruptura local: distâncias

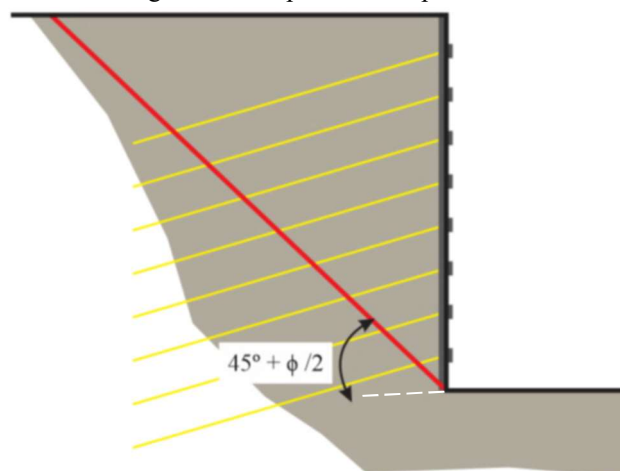


Fonte: Autor (2018)

Para o presente trabalho, calculou-se as superfícies de ruptura locais para as distâncias de $0,3$ e $0,4 H$, e ainda se optou por utilizar o valor de $0,20 H$ para o valor da abcissa do ponto P .

Há ainda um outro tipo de superfície de ruptura, que pode ser circular ou em cunha. No caso do tipo cunha, ilustrado na Figura 11, o plano de escorregamento inicia-se na base da escavação, estando orientado de $45^\circ + \phi / 2$ para o estado ativo de Rankine, de acordo com a Teoria de Rankine (BUDHU, 2013).

Figura 11 – Ruptura local tipo cunha

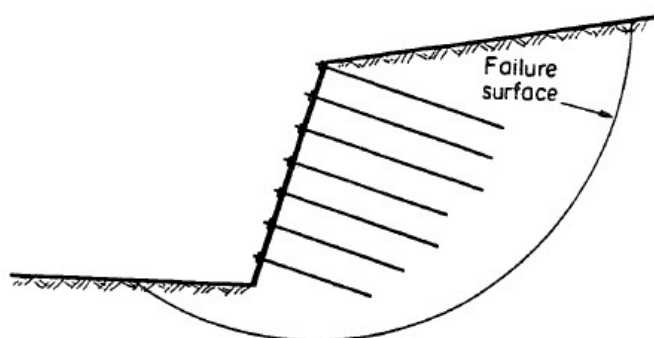


Fonte: Autor (2018)

2.3.2. Superfície de Ruptura Global

Esse tipo de ruptura ocorre quando toda a estrutura de contenção é levada, não sendo causada, por exemplo, por uma falha na estrutura interna dos grampos, como ocorre na ruptura local. A superfície não intercepta os grampos, mas eventualmente pode acontecer nos últimos grampos. A Figura 12 ilustra esse tipo de ruptura.

Figura 12 – Superfície de ruptura global

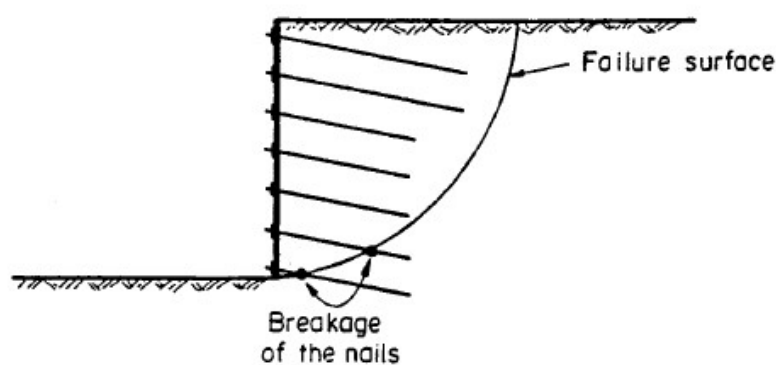


Fonte: Clousterre (1991)

2.3.3. Superfície de Ruptura Mista

Segundo Clousterre (1991), esse tipo de ruptura é caracterizado pela combinação dos dois tipos anteriores. A Figura 13 ilustra essa situação.

Figura 13 – Superfície de ruptura mista



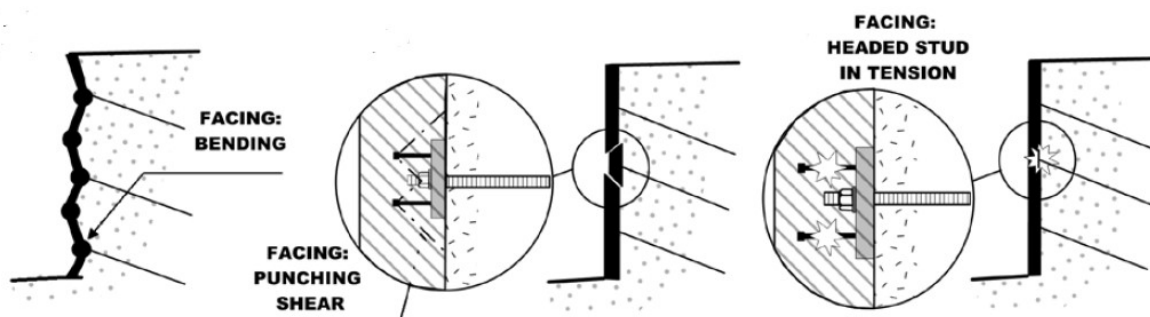
Fonte: Clousterre (1991)

2.3.4. Rupturas de face

O maciço pode ainda romper em virtude de outras causas, como, por exemplo, na placa que é instalada junto ao paramento. A Figura 14 mostra três tipos de rupturas de face: a primeira devido a curvatura ou flexão do paramento, a segunda devido às forças cisalhantes atuantes na

placa situada junto ao paramento, ocorrendo o desprendimento da cabeça do grampo do paramento, e a terceira devido à falha nos parafusos localizados na placa.

Figura 14 – Rupturas de face



Fonte: FHWA-NHI-14-007 (2015)

2.4. Análises Determinísticas

De acordo com Massad (2010), os métodos para a análise da estabilidade de taludes são baseados na hipótese de que há equilíbrio em uma massa de solo na iminência de escorregamento. Com base no conhecimento das forças atuantes, as tensões de cisalhamento induzidas são calculadas através das equações de equilíbrio.

Diversos métodos foram desenvolvidos para analisar esta estabilidade, seja para seções de escorregamento planares calculadas por ábacos, seja para seções circulares, calculadas pelos métodos do equilíbrio limite, como Fellenius, Bishop, Morgenstern-Price entre outros. Neste trabalho serão abordados os métodos de Fellenius, Bishop Simplificado e o método de pré-dimensionamento Francês.

2.4.1. Pré-dimensionamento – Método Francês

O método francês de pré-dimensionamento, apresentado pelo Projeto Clouterre (1991), lança mão de ábacos de estabilidade para calcular o valor do fator de segurança para a superfície de ruptura global. Ele relaciona a densidade de grampeamento (d), tangente do ângulo de atrito interno ($\tan \phi$) e a relação de estabilidade N .

O método exige que o perfil tenha solo em camada única em toda a sua profundidade, não apresente nível d'água, tenha uma altura máxima de 5 m, não haja sobrecarga nem grampos protendidos e nem haja estruturas ao redor que poderiam afetar o muro (CLOUTERRE, 1991).

Para cálculo da densidade de grampeamento utiliza-se a equação abaixo, sendo $0,1 \leq d \leq 1,0$:

$$d = \frac{t}{\gamma \times S_v \times S_h} \tag{Equação 7}$$

Onde:

t [kN/m] = resistência de aderência unitária

γ [kN/m³] = peso específico do solo

S_v [m] = espaçamento vertical dos grampos

S_h [m] = espaçamento horizontal dos grampos

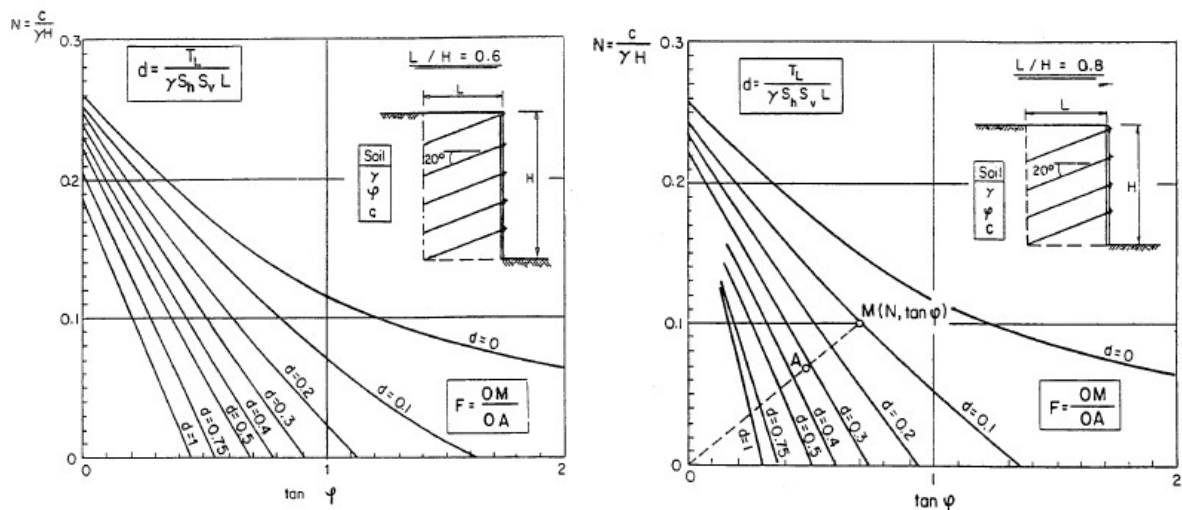
A relação N é dada pela equação a seguir:

$$N = \frac{c}{\gamma \times H} \tag{Equação 8}$$

Onde c é a coesão do solo, em kPa, e H é a altura do paramento.

Para cada valor da relação L/H (comprimento do grampo / altura do paramento) tem-se um diferente ábaco. Os valores de L/H são: 0,6, 0,8, 1,0 e 1,2. Ressalta-se que esses ábacos consideram o comprimento do grampo constante em todas as fileiras e de inclinação 20°. A Figura 15 apresenta dois exemplos de ábacos de estabilidade.

Figura 15 – Exemplos de ábacos de estabilidade de pré-dimensionamento



Fonte: Clouterre (1991)

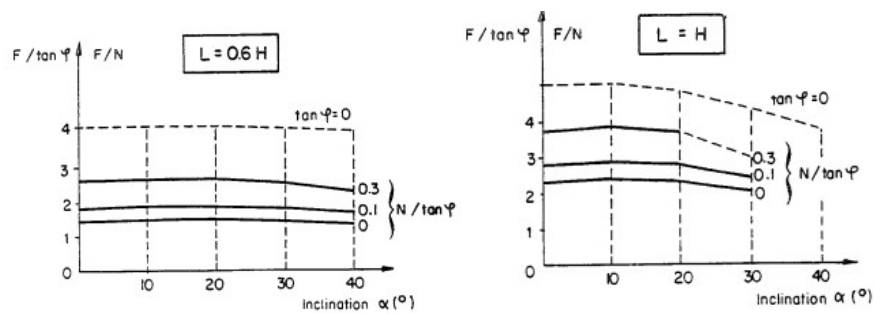
O ponto $(\tan \phi, N)$ será chamado de M e em seguida será traçado o segmento OM , sendo “ O ” a origem $(0, 0)$. O ponto de interseção entre este segmento a curva paramétrica de “ d ” será

indicado como ponto A. O valor da relação entre o comprimento dos segmentos $\overline{OM} / \overline{OA}$ será o valor do fator de segurança global da estrutura.

$$F.S. = \frac{\overline{OM}}{\overline{OA}} \quad \text{Equação 9}$$

Embora os ábacos da Figura 15 são para inclinações do grampo de 20° , outras inclinações podem ser adotadas, desde que seja realizada a devida correção através de ábacos como os da Figura 16.

Figura 16 – Gráficos de correção do fator de segurança

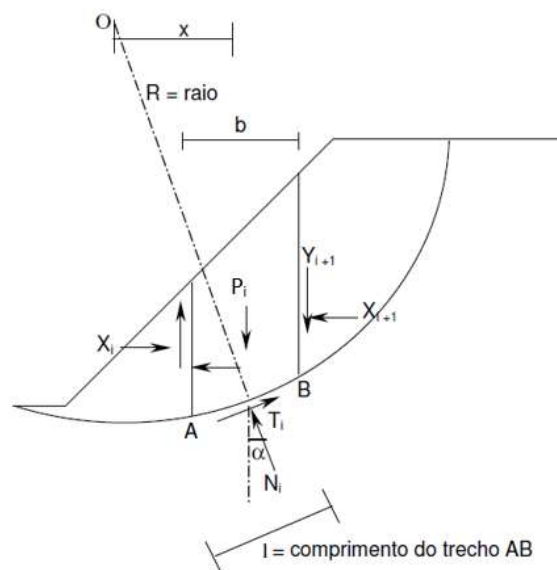


Fonte: Clouterre (1991)

2.4.2. Método de Fellenius (*Ordinary*)

Esse método admite uma superfície de ruptura circular e o fator de segurança do talude é calculado unicamente através de equilíbrio de momentos, não levando em consideração as forças tangenciais e normais às paredes das fatias (Figura 17).

Figura 17 – Forças atuantes em uma fatia pelo Método de Fellenius



Fonte: adaptado de Fabricio (2006)

Onde:

N_i = força normal efetiva atuante na base da lamela;

T_i = resistência ao cisalhamento mobilizada;

P_i = peso do solo.

Desprezando as forças nas laterais das fatias, considerando que a componente sísmica é nula, aplicando o equilíbrio de momentos em relação ao centro do círculo de ruptura (ponto O) e o equilíbrio de forças na direção perpendicular à superfície de ruptura pode-se determinar o fator de segurança (FS) através da Equação 10:

$$F = \frac{\sum [c' \times (b / \cos \alpha) + (P \times \cos \alpha - u(b / \cos \alpha)) \times \operatorname{tg} \phi']}{\sum (P \times \operatorname{sen} \alpha)} \quad \text{Equação 10}$$

u = pressão neutra;

c' = coesão efetiva do solo;

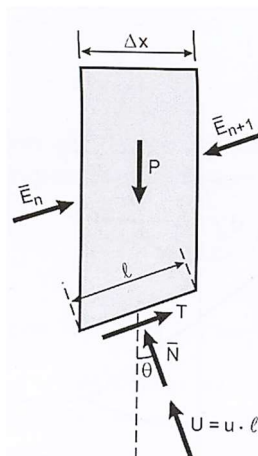
ϕ' = ângulo de atrito efetivo do solo.

O fator de segurança é o menor FS encontrado dentre todas as lamelas calculadas.

2.4.3. Método de Bishop Simplificado

No método de Bishop simplificado, o equilíbrio das forças é feito na direção vertical, como mostra a Figura 18 e Equação 11. Este método é chamado simplificado pois ele não considera a força entre lamelas, visto que a mesma é desprezível.

Figura 18 – Lamela de Bishop



Fonte: Massad (2010)

$$(\bar{N} + U) \times \cos \theta + T \times \sin \theta = P \quad \text{Equação 11}$$

Em que:

\bar{N} = força normal efetiva atuante na base da lamela;

U = pressão neutra na base;

T = resistência ao cisalhamento mobilizada;

P = peso do solo.

Ao calcular U e T e inserir o coeficiente de segurança (FS), tem-se a Equação 12.

$$\bar{N} = \frac{P - u \times \Delta x - \frac{c' \times \Delta x \times \operatorname{tg} \theta}{FS}}{\cos \theta + \frac{(\operatorname{tg} \phi' \times \operatorname{sen} \theta)}{FS}} \quad \text{Equação 12}$$

Em que:

u = pressão neutra;

Δx = largura da lamela;

FS = fator de segurança;

c' = coesão efetiva do solo;

ϕ' = ângulo de atrito interno efetivo.

Igualando-se as forças atuantes e resistentes, tem-se a Equação 13, pela qual se pode realizar o cálculo iterativo e encontrar coeficiente de segurança FS.

$$F = \frac{\sum \left[c' \times l + \left(\frac{P - u \times \Delta x - (c' \times \Delta x \times \operatorname{tg} \theta) \times FS}{\cos \theta + \operatorname{tg} \phi' \times \frac{\operatorname{sen} \theta}{FS}} \right) \times \operatorname{tg} \phi' \right]}{\sum (P \times \operatorname{sen} \theta)} \quad \text{Equação 13}$$

2.5. Análises Probabilísticas

2.5.1. FS Determinístico e Probabilístico

As análises de estabilidade de escavações podem ser realizadas por meio da determinação de dois tipos de fatores de segurança (FS): FS determinístico e probabilístico. O

fator de segurança determinístico é aquele calculado para a superfície de deslizamento mínimo global, onde todos os parâmetros de entrada são exatamente iguais aos valores médios (análise convencional).

Por sua vez, o fator de segurança probabilístico é obtido através da média dos fatores de segurança calculados através da variação de parâmetros para a superfície de deslizamento Mínimo Global. Para um número suficientemente grande de amostras, os dois valores devem ser próximos. O que pode não acontecer na prática, onde as amostras analisadas são em quantidades limitadas e às vezes não representativas do subsolo analisado.

2.5.2. Variabilidade do solo

Um dos desafios que a Engenharia Geotécnica enfrenta é o de determinar parâmetros que descrevam com precisão as características dos solos e de desenvolver modelos que melhor caracterizem e prevejam o comportamento do solo. Os modelos teóricos desenvolvidos para outros tipos de materiais da engenharia, como o aço e concreto, não são suficientemente adequados quando se trata do solo, que é uma entidade de extrema complexidade.

Os valores estabelecidos, mesmo por meio de ensaios laboratoriais, para os parâmetros do solo estão longe de serem constantes em toda a sua extensão, podendo apresentar variações a poucos metros do local analisado. Segundo Ameratunga et al. (2016), essa variabilidade aumenta o risco associado às previsões do comportamento desse material.

O coeficiente de variação (CV), ou desvio padrão médio, é uma medida estatística que mostra a extensão da variabilidade em relação à média da população. Ele apresenta uma vantagem sobre o desvio padrão por não ser afetado pela magnitude dos dados, e por permitir a comparação de diversos valores de CV independentemente da unidade dos dados. Ele é definido como:

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100\% \quad \text{Equação 14}$$

Onde σ é o desvio padrão e \bar{x} é a média da população.

Ameratunga et al. (2016) reúne valores de coeficientes de variação associados aos diversos parâmetros geotécnicos do solo disponíveis na literatura. Esses valores podem ser vistos na Figura 19.

Figura 19 – Valores típicos de coeficientes de variação

| Parameter | Coeff. of variation (%) |
|---|-------------------------|
| Void ratio, e | 20–30 |
| Porosity, n | 20–30 |
| Relative density, D_r | 10–40 |
| Specific gravity, G_s | 2–3 |
| Unit weight, γ | 3–7 |
| Buoyant unit weight, γ' | 0–10 |
| Liquid limit, LL | 10–20 |
| Plastic limit, PL | 10–20 |
| Plasticity index, PI | 30–70 ^a |
| Optimum water content, w_{opt} | 20–40 ^b |
| Maximum dry density, $\rho_{d(max)}$ | 5 |
| California bearing ratio, CBR | 25 |
| Permeability (saturated), k | 70–90 |
| Permeability (Unsaturated), k | 130–240 |
| Coefficient of consolidation, c_v | 25–70 |
| Compression index, C_c | 10–40 |
| Preconsolidation pressure, σ'_c | 10–35 |
| Friction angle (sands), ϕ' | 10 |
| Friction angle (clays), ϕ' | 10–50 |
| Friction angle (mine tailings), ϕ' | 5–20 |
| Undrained shear strength, c_u | 20–40 |
| Standard penetration test blow count, N | 20–40 |
| Cone (Electric) resistance, q_c | 5–15 |
| Cone (Mechanical) resistance, q_c | 15–35 |
| Undrained shear strength from field vane, c_u | 10–30 |

^aLower values for clays and higher ones for sandy/gravelly clays
^bLower values for clays and higher ones for granular soils

Fonte: Ameratunga et al. (2016)

Na tabela da Figura 19 não constam valores de CV para a resistência de aderência q_s , porém é possível estimar seus valores através do N_{SPT} (Equação 1). Como o valor do coeficiente de variação do N_{SPT} está entre 10 e 40% (Figura 19), foi utilizado o valor de 40% para o coeficiente de variância de q_s .

2.5.3. Métodos de simulação estatística

O software possui dois métodos simulação estatística: *Monte Carlo* e *Latin Hypercube*. De acordo com Shonkwiler e Mendivil (2009), o método Monte Carlo é uma técnica de análise de fenômenos por meio de algoritmos computacionais que empregam, de maneira essencial, a geração de números aleatórios. Este método é o mais clássico e consagrado nesse tipo de análise, sendo aqui nesse trabalho utilizado para as análises probabilísticas.

2.5.4. Tipos de análises

O tipo de análise Determinístico Mínimo Global, que é o realizado nesse trabalho, realiza a análise probabilística apenas na superfície mínima global de deslizamento, previamente localizada pela análise de estabilidade determinística. O fator de segurança será computado N vezes (onde N = número de amostras) para a superfície mínima global de deslizamento, usando um conjunto diferente de variáveis de entrada geradas aleatoriamente para cada análise.

2.5.5. Distribuição de probabilidade

O software permite a adoção de diversos tipos de distribuição de probabilidade, tais como a normal, uniforme, triangular, beta e exponencial, sendo as distribuições normal e log-normal as mais usadas em geotecnia (FABRICIO, 2006). Neste trabalho será assumida nas análises a distribuição normal.

Para uma distribuição normal, 99,7% de todas as amostras devem cair dentro de 3 desvios padrão do valor médio. Portanto, recomenda-se que os valores Mínimo Relativo e Máximo Relativo sejam iguais a pelo menos 3 vezes o desvio padrão, para garantir que uma distribuição normal completa (não truncada) seja definida (ROCSCIENCE, 2018).

2.5.6. Probabilidade de Falha

A probabilidade de Falha (PF) é a relação entre o número de superfícies em que apresentam um FS crítico, isto é, menor do que 1,0, e o número de superfícies analisadas (número de amostras N). Essa relação pode ser vista na equação abaixo.

$$P.F. = \frac{\text{Núm. superfícies com falha}}{\text{Número de amostras}} \times 100\% \quad \text{Equação 15}$$

2.5.7. Índice de Confiabilidade

O índice de confiabilidade β é um indicador do número de desvios padrão que separam o Fator de Segurança médio ($\overline{F.S.}$) do fator de segurança crítico (FS = 1). Ele pode assumir uma distribuição normal (Equação 16) ou log-normal (Equação 17).

$$\beta = \frac{\overline{F.S.} - 1}{\sigma_{F.S.}} \quad \text{Equação 16}$$

Onde $\sigma_{F.S.}$ é o desvio padrão dos valores de fator de segurança.

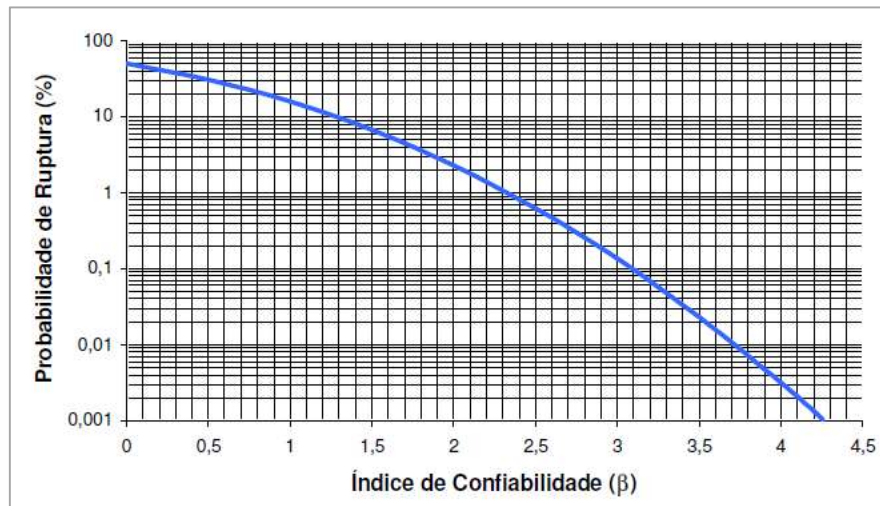
$$\beta_{LN} = \frac{\ln \left[\frac{\overline{F.S.}}{\sqrt{1 + CV^2}} \right]}{\sqrt{\ln(1 + CV^2)}} \times 100\% \quad \text{Equação 17}$$

Onde CV é o coeficiente de variância do fator de segurança.

Um índice de confiabilidade de pelo menos 3 é recomendado, como uma garantia mínima de um projeto de contenção seguro (ROCSCIENCE, 2018).

Fabricio (2006) apresenta um gráfico que mostra a probabilidade de ruptura variando-se o valor de β (Figura 20).

Figura 20 – Confiabilidade x Probabilidade de Ruptura



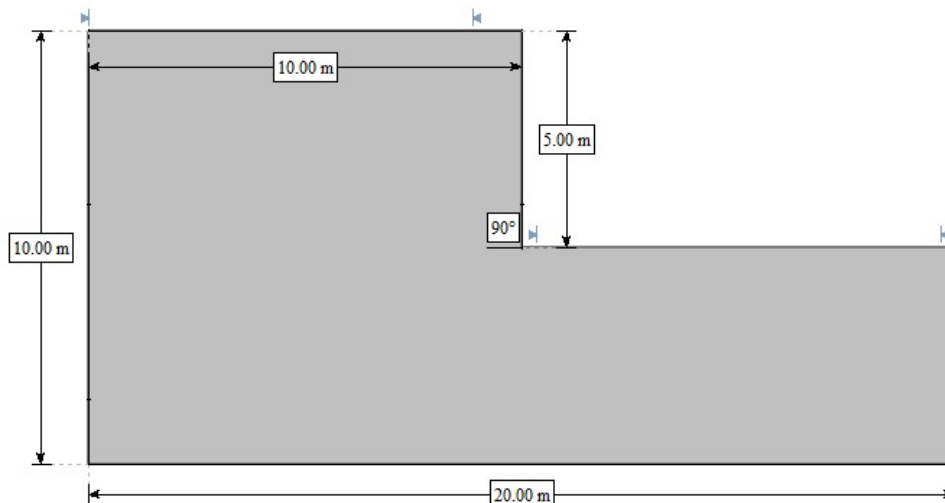
Fonte: Fabricio (2006)

3 DIMENSIONAMENTO

3.1. Dados da geometria da escavação

Será feita uma escavação a prumo de 5 m de altura (Figura 21) para a implantação de um edifício em área urbanizada que possuirá dois níveis de subsolo. Essa escavação será reforçada com solo grampeado.

Figura 21 – Escavação



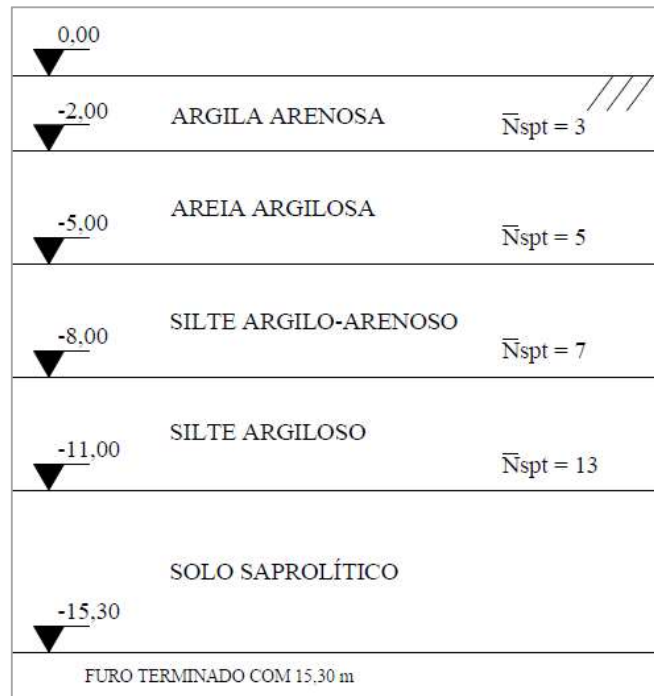
Fonte: Autor (2018)

3.2. Parâmetros geotécnicos e cargas atuantes

O estudo e caracterização do solo é necessário para definir os esforços exercidos por ele na estrutura e também para escolher o tipo de fundação ou contenção a ser utilizada. Pelos mesmos motivos, é importante também identificar o nível do lençol freático no local.

O solo aqui estudado consiste em diversas camadas de solo argiloso, arenoso e silteoso e não apresenta nível d'água (Figura 22). O perfil foi obtido de uma sondagem realizada na região de Uberlândia-MG. Foi adicionado no topo da escavação um carregamento distribuído de 20 kPa, atendendo à ABNT NBR 11682:2009.

Figura 22 – Perfil do terreno



Fonte: Autor (2018)

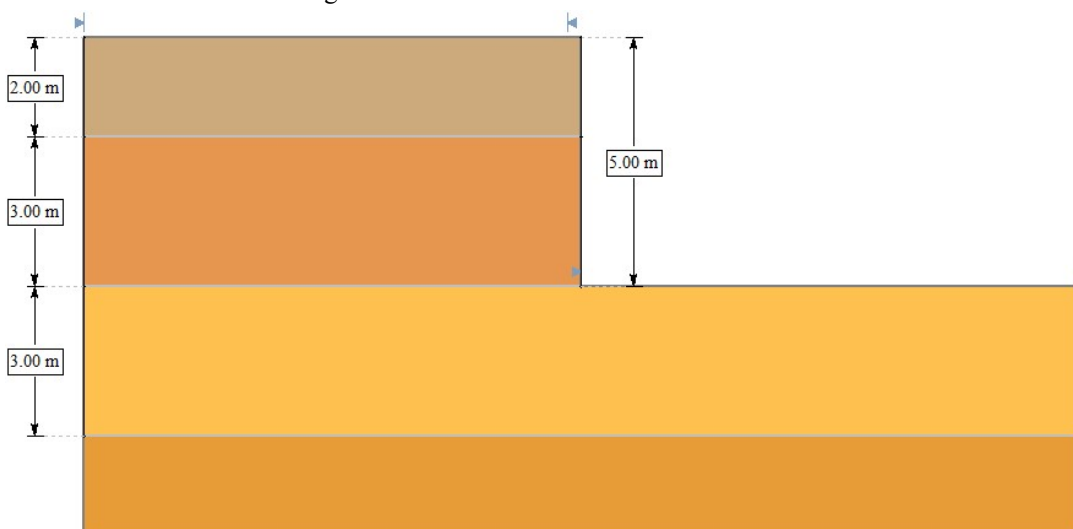
Os parâmetros geotécnicos deste solo (Tabela 6 e Figura 23), como o peso específico e a coesão, foram obtidos por meio dos valores propostos por Joppert Jr. (2007). O ângulo de atrito foi obtido por meio da equação sugerida por Teixeira (1996) (Equação 3). O módulo de elasticidade foi obtido através do produto dos coeficientes empíricos K e α e do NSPT. Os valores para esses coeficientes estão na Tabela 3 e Tabela 4, respectivamente. O coeficiente de Poisson foi determinado através da Tabela 5.

Tabela 6 – Resumo dos parâmetros geotécnicos

| Camada | Faixa de Ocorrência [m] | N _{spr} médio | γ [kN/m ³] | c [kN/m ²] | ϕ [°] | E [MPa] | ν | |
|-----------------|-------------------------|------------------------|-------------------------------|------------------------|------------|---------|-------|-----|
| 1 | Argila arenosa | 0 – 2 | 3 | 16 | 15 | 22,7 | 6,3 | 0,2 |
| 2 | Areia argilosa | 2 – 5 | 5 | 18 | 5 | 25,0 | 8,25 | 0,3 |
| 3 | Silte areno argiloso | 5 – 8 | 7 | 18 | 15 | 26,8 | 15,75 | 0,4 |
| 4 | Silte argiloso | 8 – 11 | 13 | 19 | 20 | 31,1 | 16,25 | 0,4 |
| Média ponderada | | 7,4 | 17,9 | 13,6 | 26,7 | | | |

Fonte: Autor (2018)

Figura 23 – Perfil escavado e camadas do solo



| Material Name | Color | Unit Weight (kN/m ³) | Strength Type | Cohesion (kPa) | Phi (deg) | Water Surface | Ru |
|----------------------|-------|----------------------------------|---------------|----------------|-----------|---------------|----|
| ARGILA ARENOSA | | 16 | Mohr-Coulomb | 15 | 22.7 | None | 0 |
| AREIA ARGILOSA | | 18 | Mohr-Coulomb | 5 | 25 | None | 0 |
| SILTE ARENO ARGILOSO | | 18 | Mohr-Coulomb | 15 | 26.8 | None | 0 |
| SILTE ARGILOSO | | 19 | Mohr-Coulomb | 20 | 31.1 | None | 0 |

Fonte: Autor (2018)

3.3. Dados da geometria e propriedades do solo grampeado

3.3.1. Grampos

O diâmetro adotado para os grampos foi de 100 mm, sendo o diâmetro da barra de aço de 20 mm. Adotou-se a relação $L/H = 0,8$, fazendo com que o comprimento L dos grampos seja de 4 m, sendo este comprimento medido ao longo da extensão do grampo. A inclinação em relação ao eixo horizontal é de 15° , conforme recomendado pela FHWA NHI 14 007 (2015).

3.3.1. Espaçamentos entre grampos

Os espaçamentos verticais (S_V) e horizontais (S_H) serão iguais a 1,2 m, de acordo com as especificações do item 2.1.4.2. Sendo assim, serão 4 fileiras de grampos.

A distância entre o topo do paramento até a primeira fileira de grampos (S_{VO}) será de 0,6 m, e a distância entre o pé da escavação até a última fileira de grampos (S_{VN}) será de 0,8 m, acima do valor mínimo.

3.3.2. Variação do comprimento dos grampos

Foi verificado a estabilidade da escavação para duas situações: a primeira com grampos de mesmo comprimento (constante) e a segunda para grampos que variam o seu comprimento ao longo da altura. E em seguida foi verificado qual das duas opções é mais vantajosa economicamente.

Para a segunda situação foi adotado $R = 0,4$, conforme Tabela 2 e o tipo de solo. Sendo assim, o valor do comprimento dos grampos da última fileira é de 1,60 m e por interpolação linear obtém-se o valor do comprimento da penúltima fileira de grampos (2,80 m). A Tabela 7 resume o valor dos comprimentos para as quatro fileiras existentes.

Tabela 7 – Comprimento dos grampos para $L/H = 0,8$

| | Grampo | Cota (m) | Comprimento (m) |
|-----------------|--------|----------|-----------------|
| Metade superior | 1 | -0,60 | 4,00 |
| | 2 | -1,80 | 4,00 |
| Metade inferior | 3 | -3,00 | 2,80 |
| | 4 | -4,20 | 1,60 |

Fonte: Autor (2018)

3.3.3. Resistência de aderência unitária

Substituindo \bar{N}_{SPT} de cada camada na Equação 1, foi obtido o valor da resistência de aderência de cada camada em kN/m^2 .

A tensão admissível de aderência empregada no projeto foi determinada para um fator de segurança igual a 2, conforme Equação 18:

$$q_{s,adm} = \frac{q_s}{FS} \quad (FS \geq 2) \quad \text{Equação 18}$$

Através da Equação 2 foi calculada a resistência de aderência unitária (t) para cada solo. Entretanto, o software Slide não permite a inserção dos valores de t em função de cada camada quando a opção “*Statistics*” está ativada (opção que realiza as análises probabilísticas), permitindo apenas a inserção de um único valor de t que será atribuído à todas as camadas. Sendo assim, foi calculado um valor médio de q_s e t através da média do N_{SPT} de todas as camadas ($\overline{N}_{SPT} = 7,4$) (Tabela 8).

Tabela 8 – Valores da resistência de aderência “ q_s ” e resistência de aderência unitária “ t ”

| | Camada | q_s [kPa] | $q_{s, adm}$ [kPa] | t [kN/m] |
|----------|--|-------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|
| 1 | Argila arenosa | 132,9 | 66,45 | 20,9 |
| 2 | Areia argilosa | 163,6 | 81,80 | 25,7 |
| 3 | Silte areno argiloso | 183,8 | 91,90 | 28,9 |
| 4 | Silte argiloso | 220,9 | 110,45 | 34,7 |
| | Camada única: $\overline{N}_{SPT} = 7,4$ | 187,08 | 93,54 | 29,4 |

Fonte: Autor (2018)

3.3.4. Resistência à tração da barra de aço

Para cálculo da resistência a tração admissível ($R_{T,adm}$) do chumbador (barra de aço), deve-se multiplicar o valor da tensão à tração admissível do aço utilizado ($f_{yk-CA50} = 500$ MPa) pela área da seção da barra.

$$R_{T_{adm}} = f_{yd} \times A_{aço}$$

$$R_{T_{adm}} = \frac{500 \times 1000}{1,15} \times \frac{\pi \times 0,02^2}{4} = 136,6kN$$

3.3.5. Paramento vertical

O paramento vertical possui 15 cm de espessura, valor que vem da prática da execução deste tipo de estrutura no Brasil, segundo Ribeiro (2015). Foi utilizada fibra sintética de polietileno ($6kg/m^3$ de concreto projetado) em substituição à tela metálica.

3.3.6. Módulo de Elasticidade

Para a determinação do módulo de elasticidade do grampo foi calculada uma média entre o módulo de elasticidade da barra de aço e da calda de cimento. Segundo LEMOS et al. (2014), uma calda de cimento com idade de 7 dias possui módulo de elasticidade de 14,26 GPa.

$$E_{grampo} = \frac{(E \times A)_{calda} + (E \times A)_{aço}}{A_{grampo}}$$

$$E_{grampo} = \frac{14,26 \times 75,40 + 210 \times 3,14}{78,54} = 22,09 \text{ GPa}$$

3.3.7. Parâmetros estatísticos

No software *Slide* o problema será analisado probabilisticamente variando o valor dos parâmetros geotécnicos do solo e também o valor da resistência de aderência do grampo.

A partir dos valores médios dos parâmetros do solo (Tabela 6), do valor de q_c médio obtido para o grampo e dos valores de coeficiente de variação (Figura 19), foi calculado, por meio da Equação 3, o desvio padrão (σ). Para os valores de Mínimo Relativo (Rel_{\min}) e Máximo Relativo (Rel_{\max}) foram adotados o coeficiente 2, pois caso fosse adotado o coeficiente recomendado (3), os valores de Rel_{\min} levariam a um valor de coesão, ângulo de atrito e coeficiente de arrancamento menores do que 0, o que não é permitido na distribuição de probabilidade normal. Estes valores calculados estão na Tabela 9.

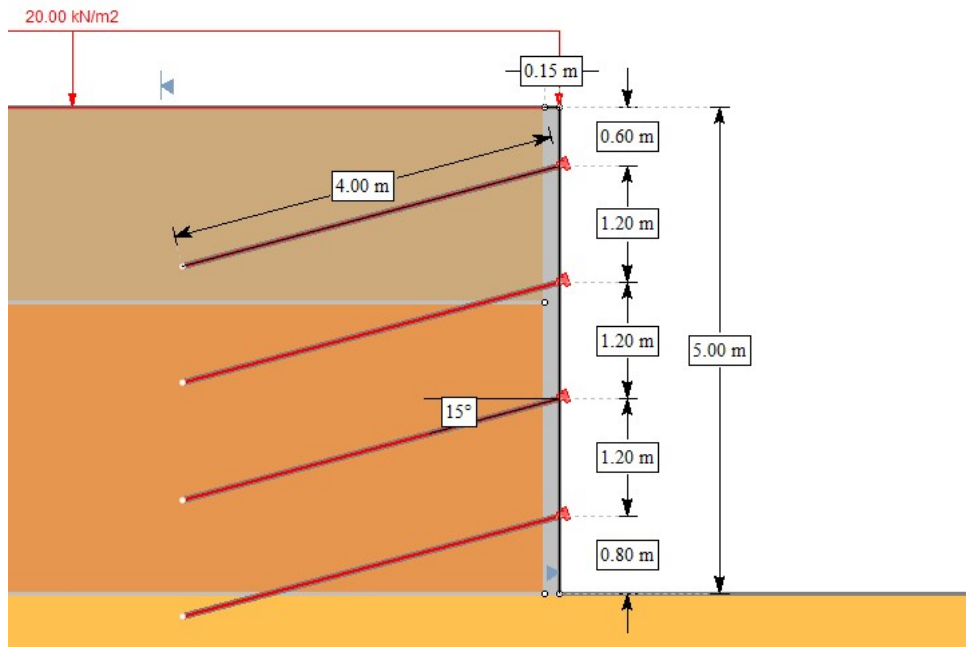
Tabela 9 – Parâmetros estatísticos do solo e do grampo

| Camada | Parâmetro | CV (%) | Média | σ | Rel. mín | Rel. máx | |
|---|----------------------|----------|---------|----------|----------|----------|-------|
| 1 | Argila arenosa | γ | 7 | 16 | 1,12 | 2,24 | 2,24 |
| | | c | 40 | 15 | 6 | 12 | 12 |
| | | ϕ | 50 | 22,7 | 11,35 | 22,7 | 22,7 |
| 2 | Areia argilosa | γ | 7 | 18 | 1,26 | 2,52 | 2,52 |
| | | c | 40 | 5 | 2 | 4 | 4 |
| | | ϕ | 10 | 25,0 | 2,5 | 5 | 5 |
| 3 | Silte areno argiloso | γ | 7 | 18 | 1,26 | 2,52 | 2,52 |
| | | c | 40 | 15 | 6 | 12 | 12 |
| | | ϕ | 10 | 26,8 | 2,68 | 5,36 | 5,36 |
| 4 | Silte argiloso | γ | 7 | 19 | 1,33 | 2,66 | 2,66 |
| | | c | 40 | 20 | 8 | 16 | 16 |
| | | ϕ | 50 | 31,1 | 15,55 | 31,1 | 31,1 |
| Camada | Parâmetro | CV (%) | Média * | σ | Rel. mín | Rel. máx | |
| 1 | Solo * | γ | 7 | 17,9 | 1,25 | 2,51 | 2,51 |
| | | c | 40 | 13,6 | 5,44 | 10,88 | 10,88 |
| | | ϕ | 50 | 26,7 | 13,35 | 26,7 | 26,7 |
| * Valores médios obtidos através da média ponderada dos valores de cada camada, a ser utilizado no pré-dimensionamento (item 3.4.1) | | | | | | | |
| Grampo | Parâmetro | CV (%) | Média | σ | Rel. mín | Rel. máx | |
| GRAMPO D100 | q_c | 40 | 29,4 | 11,76 | 23,52 | 23,52 | |

Fonte: Autor (2018)

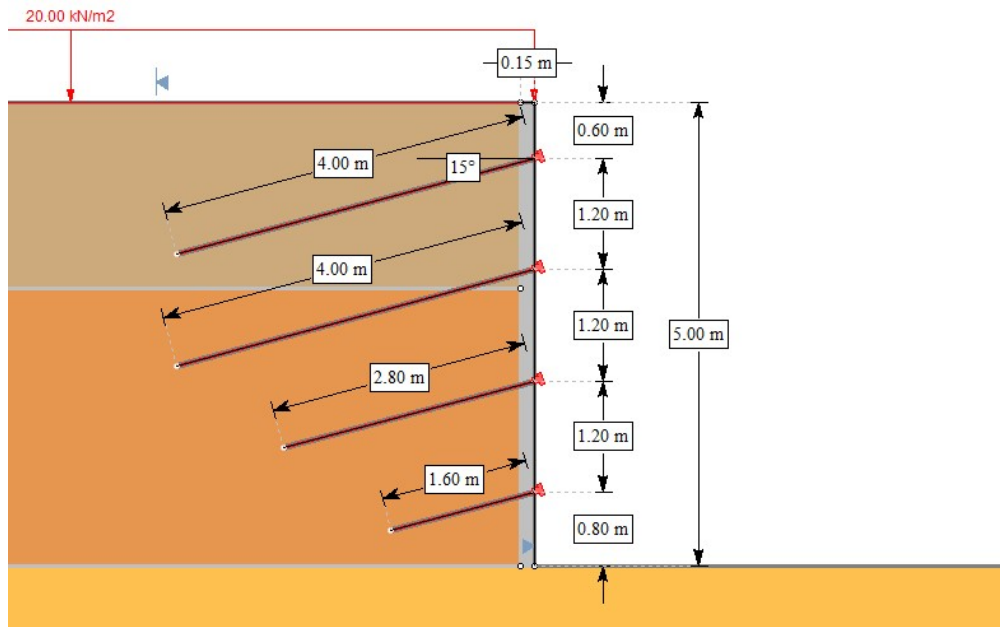
As figuras abaixo mostram a configuração final dos modelos que foram simulados na ferramenta *Slide 2018*.

Figura 24 – Escavação com comprimento dos grampos constante



Fonte: Autor (2018)

Figura 25 – Escavação com comprimento dos grampos variável



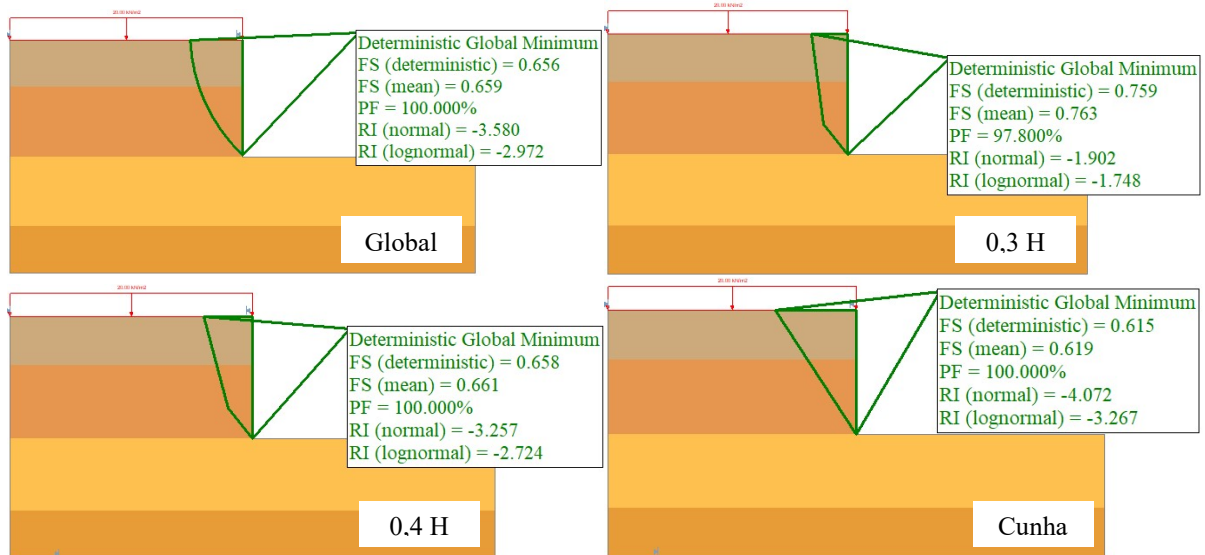
Fonte: Autor (2018)

3.4. Análises de estabilidade

Primeiramente verificou-se a estabilidade do maciço escavado sem reforço. A superfície de ruptura local nomeada de “0,3H” corresponde àquela em que ocorre a uma distância horizontal do paramento de 0,3 vezes a altura da escavação. Idem para a superfície “0,4H”.

Os resultados para estabilidade global da escavação indicam valores para FS menores de 1,0 para todos os métodos de cálculo empregados, indicando a instabilidade da escavação. Os valores de β são menores que 3,0 e a probabilidade de falha é de 100%, conforme mostra a Figura 26 e Tabela 10.

Figura 26 – Valores de F.S para maciço não reforçado



Fonte: Autor (2018)

Tabela 10 – Valores de FS e PF – Maciço não reforçado

| | | <i>Deterministic Global Minimum</i> | | | | | |
|--------|-----------|-------------------------------------|-------------------|---------------|---------|-----------|--------------|
| | | FS Determinístico | FS Probabilístico | Diferença (%) | PF (%) | β_N | β_{LN} |
| Global | Fellenius | 0,656 | 0,659 | 0,455 | 100,000 | -3,580 | -2,972 |
| | Bishop S. | 0,548 | 0,555 | 1,261 | 100,000 | -5,589 | -4,198 |
| 0,3H | Fellenius | 0,759 | 0,763 | 0,524 | 97,800 | -1,902 | -1,748 |
| | Bishop S. | 0,496 | 0,497 | 0,201 | 100,000 | -7,665 | -5,684 |
| 0,4H | Fellenius | 0,658 | 0,661 | 0,454 | 100,000 | -3,257 | -2,724 |
| | Bishop S. | 0,502 | 0,509 | 1,375 | 100,000 | -7,480 | -5,321 |
| Cunha | Fellenius | 0,615 | 0,619 | 1,131 | 100,000 | -4,072 | -3,267 |
| | Bishop S. | 0,520 | 0,522 | 0,383 | 100,000 | -7,423 | -5,350 |

Fonte: Autor (2018)

3.4.1. Pré-dimensionamento

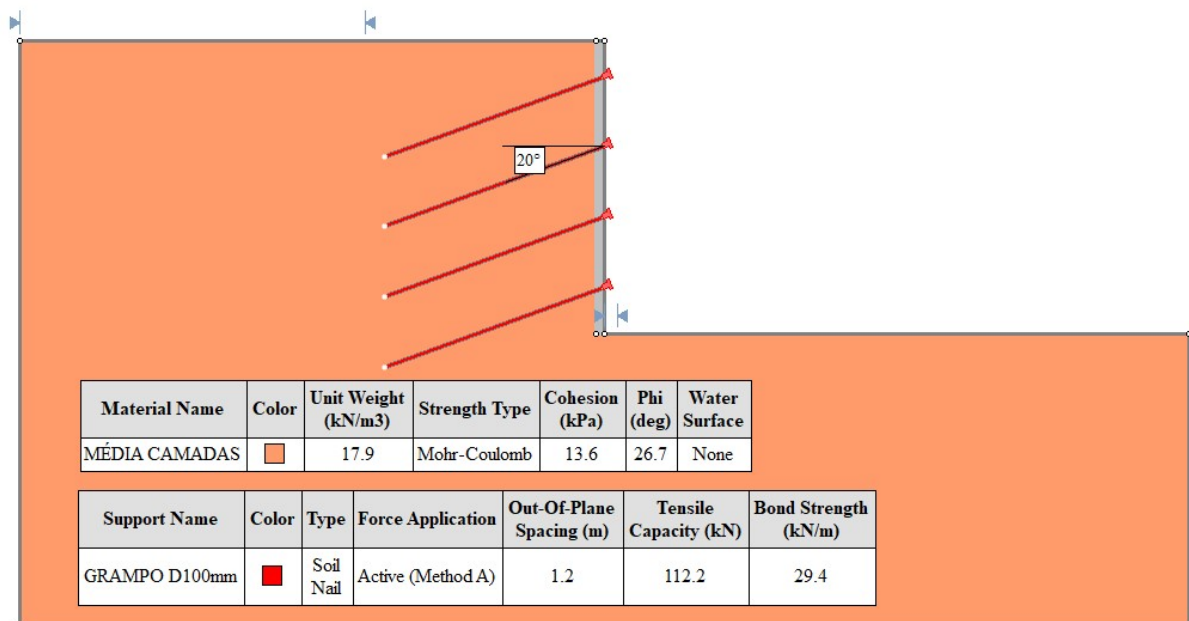
O método de pré-dimensionamento utilizado é o apresentado pelo Projeto Clouterre (1991) – o método francês.

3.4.1.1. Parâmetros geotécnicos do solo

Por limitação deste método de pré-dimensionamento, não foi possível realizar os cálculos com todas as camadas de solo. Sendo assim, foi determinada uma média dos parâmetros do solo e considerou-se que a escavação possui uma única camada homogênea (Figura 27). Foi obtido peso específico médio (γ) de 17,9 kN/m³, ângulo de atrito médio (ϕ) de 26,7°, coesão média (c) de 13,6 kPa e resistência de arrancamento por metro linear do grampo de 29,4 kN/m (Tabela 6).

Foi adotado 20° para a inclinação dos grampos e todos têm o mesmo comprimento L de 0,8 x H, para que seja possível a utilização do ábaco da Figura 15.

Figura 27 – Escavação com solo grampeado – Pré-dimensionamento



Fonte: Autor (2018)

3.4.1.2. Cálculos e determinação do FS global

Para o cálculo da densidade dos grampos foi utilizada a Equação 7:

$$d = \frac{29,4}{17,9 \times 1,2 \times 1,2} = 1,14$$

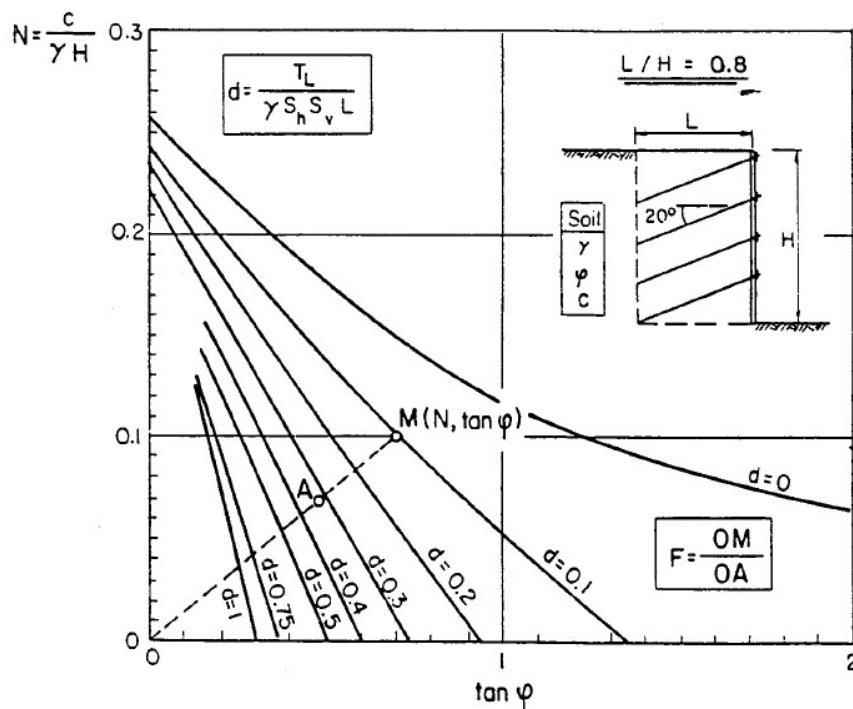
Como o valor de d deve estar entre 0,1 e 1,0, o valor final para d foi de 1,0.

A Equação 8 foi utilizada para o cálculo da coordenada N :

$$N = \frac{13,6}{17,9 \times 5,0} = 0,15$$

Sendo $\tan \phi = 0,503$, consultou-se o ábaco abaixo (Figura 28).

Figura 28 – Ábaco para pré-dimensionamento de solo grampeado. Escavações verticais com relação $L/H = 0,8$

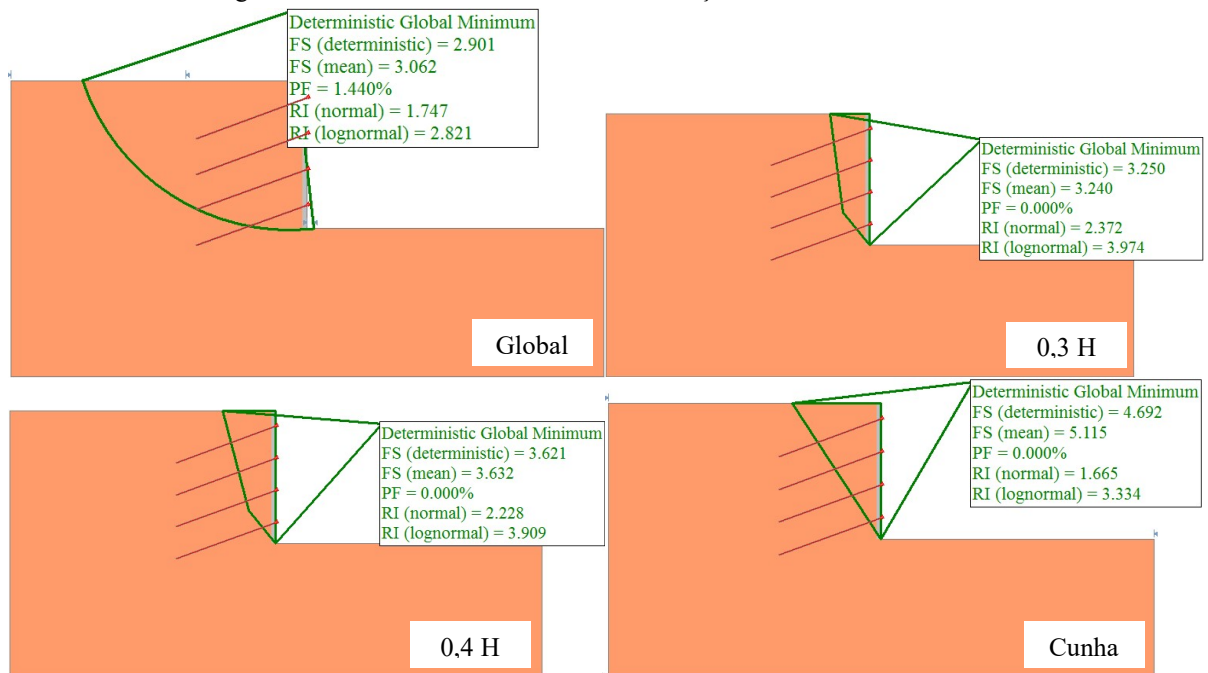


Fonte: Clouterre (1991)

Fazendo $FS = OM/OA$, é obtido o valor de 2,35, que corresponde ao fator de segurança global da estrutura. este valor é maior que 1,5, que é o fator de segurança mínimo estabelecido na ABNT NBR 6122 (2010). Portanto considera-se que nessas condições a escavação está estável.

Para comparação, calculado no *Slide* o fator de segurança. Na Figura 29 podem ser vistos os resultados para o método de Fellenius, e na Tabela 11 para os demais métodos. Os valores dos fatores de segurança são maiores do que o obtido pelo ábaco de estabilidade, apresentando probabilidade de falha de 1,52 %.

Figura 29 – Análise da estabilidade da escavação – Pré-dimensionamento



Fonte: Autor (2018)

Tabela 11 – Valores de FS e PF – Pré-dimensionamento

| | | <i>Deterministic Global Minimum</i> | | | | | |
|--------|-----------|-------------------------------------|-------------------|---------------|--------|-----------|--------------|
| | | FS Determinístico | FS Probabilístico | Diferença (%) | PF (%) | β_N | β_{LN} |
| Global | Fellenius | 2,901 | 3,062 | 5,258 | 1,440 | 1,747 | 2,821 |
| | Bishop S. | 3,091 | 3,273 | 5,576 | 1,240 | 1,742 | 2,895 |
| 0,3H | Fellenius | 3,250 | 3,240 | -0,309 | 0,000 | 2,372 | 3,974 |
| | Bishop S. | 2,994 | 3,009 | 0,513 | 0,373 | 2,050 | 3,310 |
| 0,4H | Fellenius | 3,621 | 3,632 | 0,302 | 0,000 | 2,228 | 3,909 |
| | Bishop S. | 3,420 | 3,393 | -0,796 | 0,380 | 1,948 | 3,306 |
| Cunha | Fellenius | 4,692 | 5,115 | 8,263 | 0,000 | 1,665 | 3,334 |
| | Bishop S. | 4,601 | 4,838 | 4,914 | 0,120 | 1,742 | 3,414 |

Fonte: Autor (2018)

Nota-se que mesmo o fator de segurança sendo maior que 1,5, os valores de β_N são menores que 3 e a probabilidade de falha é de 1,4% na superfície de ruptura global, pelo método de Fellenius. Além disso, mesmo havendo uma quantidade elevada de análises realizadas (N=5000), os valores de FS determinístico e probabilístico apresentaram diferença de até 4,185%.

3.4.2. Verificação da estabilidade local e global

Como o fator de segurança no pré-dimensionamento manteve-se acima de 1,5, as hipóteses adotadas (comprimento dos grampos, espaçamentos) para o solo grampeado, determinado no item anterior, serão mantidos nesta próxima fase de dimensionamento.

São analisadas 4 tipos de superfícies de rupturas, sendo elas:

- Superfície de Ruptura Global: *Circular Surface – Slope Search*
- Superfícies de Ruptura Local: 0,3 H, 0,4 H e cunha (ver item 2.3.1) – *Non Circular Surface – Block Search*

A metodologia utilizada para o dimensionamento segue as etapas abaixo. Nela buscou-se analisar duas escavações com grampeado: uma mantendo e outra variando o comprimento dos grampos ao longo da altura, para que no fim pudesse ser verificada qual das duas opções é mais viável economicamente.

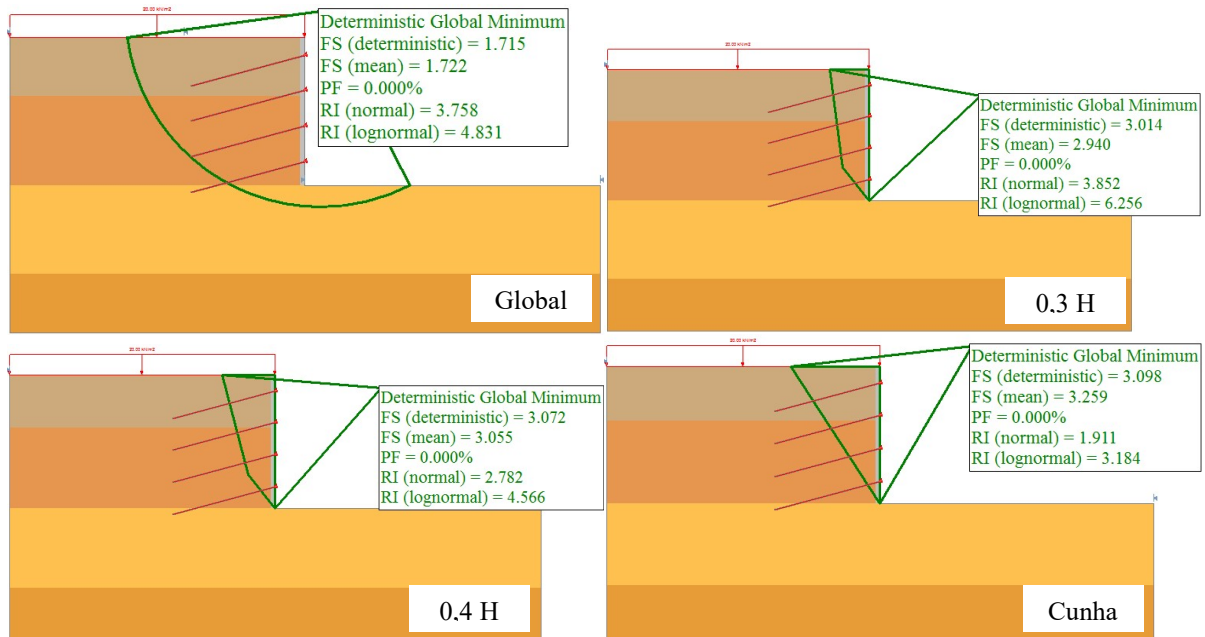
- **Etapa 1:** Neste primeiro momento, a escavação será calculada com o comprimento dos grampos **constant**es e com relação $L/H = 0,8$ (condição obtida no pré-dimensionamento). Se FS é maior que 1,5, prossegue-se diretamente para o passo 2.
 - **Etapa 1.a:** Caso não se atinja o valor mínimo de FS de 1,5, a relação L/H será aumentada até que se atinja o valor mínimo de FS. Outros parâmetros também podem ser alterados, como o diâmetro do grampo ou os espaçamentos. Prossegue-se para a etapa seguinte.
- **Etapa 2:** Posteriormente, a escavação será verificada para a configuração definida na etapa 1, porém variando o comprimento dos grampos ao longo da altura. Este procedimento busca uma solução economicamente mais vantajosa, pois ao diminuir-se o comprimento do grampo nas últimas camadas também diminuiria o preço por metro de contenção construído. Se FS é maior que 1,5, prossegue-se diretamente para o passo 3.
 - **Etapa 2.a:** Caso não se atinja o valor mínimo de FS de 1,5, a relação L/H será aumentada até que se atinja o valor mínimo de FS. Prossegue-se para a etapa seguinte.

- **Etapa 3:** Realiza-se o orçamento de ambas as escavações. A solução adotada será aquela mais econômica.
- **Etapa 4:** Verifica-se a escavação quanto aos deslocamentos máximos admissíveis.

3.4.2.1. Etapa 1

Primeiramente a escavação foi analisada nas seguintes configurações: $L/H = 0,8$, L constante, conforme pré-dimensionamento. A figura abaixo exhibe os resultados obtidos no software *Slide* para o método Fellenius. Os resultados para o método de Bishop simplificado estão disponíveis na Tabela 12 e no Apêndice D.

Figura 30 – Resultados da estabilidade da contenção – $L/H = 0,8$ e L constante



Fonte: Autor (2018)

A tabela abaixo apresenta os valores obtidos para o fator de segurança para cada superfície de ruptura e métodos de cálculo.

Tabela 12 – Valores de FS e PF – L/H = 0,8 e L constante

| | | <i>Deterministic Global Minimum</i> | | | | | |
|--------|-----------|-------------------------------------|-------------------|---------------|--------|-----------|--------------|
| | | FS Determinístico | FS Probabilístico | Diferença (%) | PF (%) | β_N | β_{LN} |
| Global | Fellenius | 1,715 | 1,722 | 0,407 | 0,000 | 3,758 | 4,831 |
| | Bishop S. | 1,884 | 1,888 | 0,212 | 0,000 | 4,190 | 5,623 |
| 0,3H | Fellenius | 3,014 | 2,940 | -2,517 | 0,000 | 3,852 | 6,256 |
| | Bishop S. | 2,747 | 2,636 | -4,211 | 0,000 | 3,255 | 5,035 |
| 0,4H | Fellenius | 3,072 | 3,055 | -0,556 | 0,000 | 2,782 | 4,566 |
| | Bishop S. | 2,903 | 2,863 | -1,397 | 0,000 | 2,537 | 4,042 |
| Cunha | Fellenius | 3,098 | 3,259 | 4,940 | 0,000 | 1,911 | 3,184 |
| | Bishop S. | 3,222 | 3,322 | 3,010 | 0,000 | 1,926 | 3,238 |

Fonte: Autor (2018)

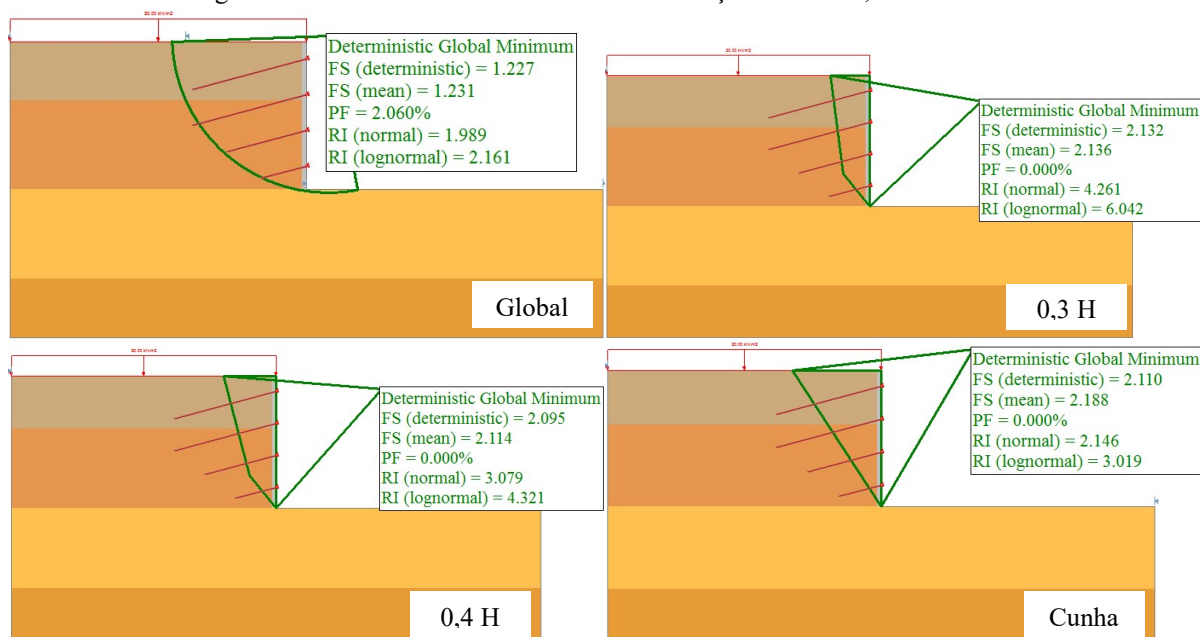
Como todas as superfícies de ruptura obtiveram valores de FS maiores que 1,5, prossegue-se para a etapa 2.

Nota-se que os valores de β_N mantiveram-se maiores que 3,0, e a probabilidade de falha é de 0% em todos os métodos e superfícies de ruptura analisados. Em algumas superfícies de ruptura a diferença entre o fator de segurança determinístico e probabilístico foram próximos, mas em outras, como a superfície 0,3H, a diferença foi de 4,5% e 6,2% para os métodos de Fellenius e Bishop simplificado, respectivamente.

3.4.2.2. Etapa 2

O comprimento dos grampos ao longo da altura da escavação foi alterado (Tabela 7).

A Figura 31 exhibe os resultados obtidos no software *Slide* para o método Fellenius. Os resultados para o método de Bishop simplificado estão disponíveis na Tabela 13 e no Apêndice E.

Figura 31 – Resultados da estabilidade da contenção – $L/H = 0,8$ e L variável

Fonte: Autor (2018)

Tabela 13 – Valores de FS e PF – $L/H = 0,8$ e L variável

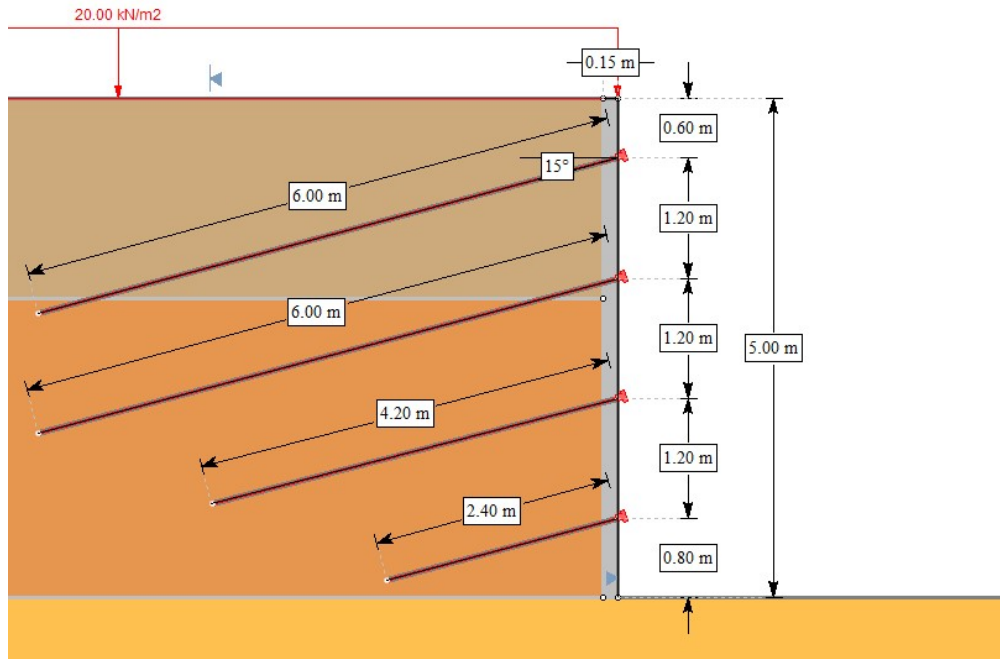
| | | <i>Deterministic Global Minimum</i> | | | | | |
|--------|-----------|-------------------------------------|-------------------|---------------|--------|-----------|--------------|
| | | FS Determinístico | FS Probabilístico | Diferença (%) | PF (%) | β_N | β_{LN} |
| Global | Fellenius | 1,227 | 1,231 | 0,325 | 2,060 | 1,989 | 2,161 |
| | Bishop S. | 1,291 | 1,293 | 0,155 | 0,569 | 2,451 | 2,739 |
| 0,3H | Fellenius | 2,132 | 2,136 | 0,187 | 0,000 | 4,261 | 6,042 |
| | Bishop S. | 1,792 | 1,784 | -0,448 | 0,000 | 3,198 | 4,164 |
| 0,4H | Fellenius | 2,095 | 2,114 | 0,899 | 0,000 | 3,079 | 4,321 |
| | Bishop S. | 1,804 | 1,812 | 0,442 | 0,000 | 2,542 | 3,310 |
| Cunha | Fellenius | 2,110 | 2,188 | 3,565 | 0,000 | 2,146 | 3,019 |
| | Bishop S. | 1,931 | 1,980 | 2,475 | 0,040 | 2,036 | 2,731 |

Fonte: Autor (2018)

Nota-se que na superfície de ruptura global os valores de β foram menores que 3,0 e a probabilidade de falha é de 2,06%. O mesmo ocorreu na superfície Cunha, onde PF é igual a 0,04% no método de Bishop Simplificado. Neste caso, os valores de FS determinístico e probabilístico convergiram e apresentaram uma baixa diferença entre si.

Como obteve-se valores de FS menores do que 1,5, prossegue-se para o Passo 2.1, que consiste no aumento da relação L/H . Adota-se $L/H = 1,2$. A Figura 32 mostra o novo comprimento dos grampos.

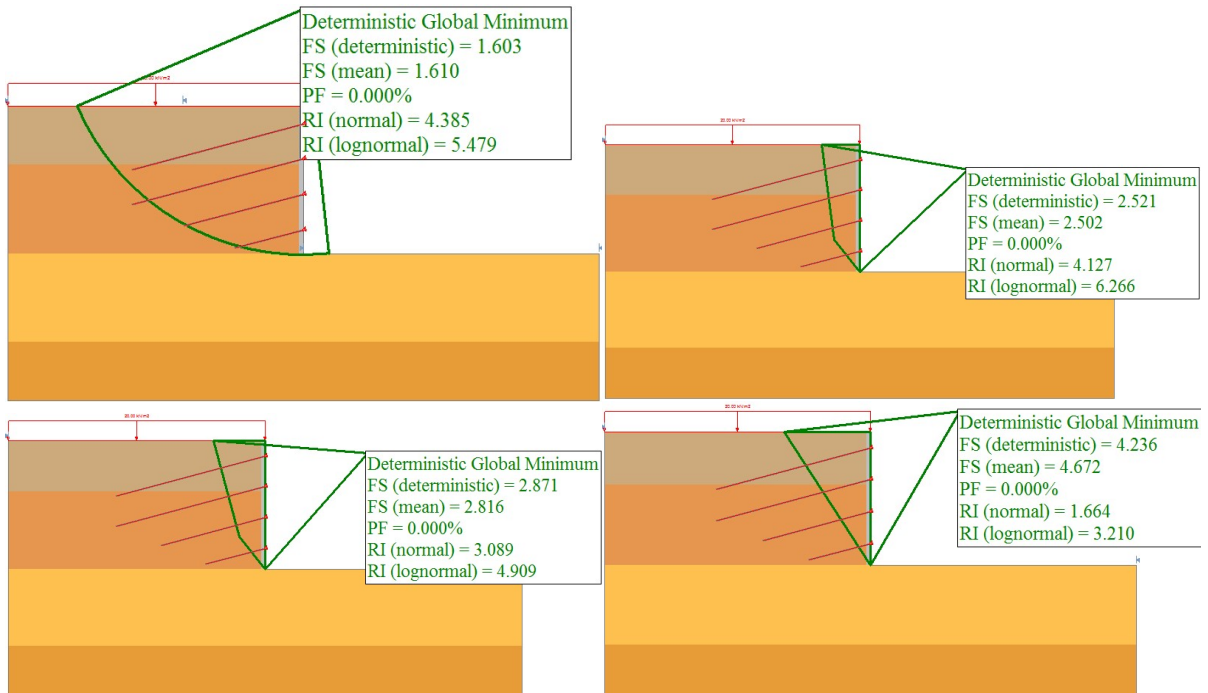
Figura 32 – Novo comprimento dos grampos – $L/H = 1,2$ e L variável



Fonte: Autor (2018)

A Figura 33 mostra os resultados obtidos no software *Slide* para o método Fellenius. Os resultados para o método de Bishop simplificado estão disponíveis na Tabela 14 e Apêndice F.

Figura 33 – Resultados da estabilidade da contenção – $L/H = 1,2$ e L variável



Fonte: Autor (2018)

Tabela 14 – Resumo dos valores de FS e PF – L/H = 1,2 e L variável

| | | <i>Deterministic Global Minimum</i> | | | | | |
|--------|-----------|-------------------------------------|-------------------|---------------|--------|-----------|--------------|
| | | FS Determinístico | FS Probabilístico | Diferença (%) | PF (%) | β_N | β_{LN} |
| Global | Fellenius | 1,603 | 1,610 | 0,435 | 0,000 | 4,385 | 5,479 |
| | Bishop S. | 1,696 | 1,700 | 0,235 | 0,000 | 4,878 | 6,255 |
| 0,3H | Fellenius | 2,521 | 2,502 | -0,759 | 0,000 | 4,127 | 6,266 |
| | Bishop S. | 2,231 | 2,193 | -1,733 | 0,000 | 3,320 | 4,742 |
| 0,4H | Fellenius | 2,871 | 2,816 | -1,953 | 0,000 | 3,089 | 4,909 |
| | Bishop S. | 2,528 | 2,483 | -1,812 | 0,000 | 2,692 | 4,038 |
| Cunha | Fellenius | 4,236 | 4,672 | 9,332 | 0,000 | 1,664 | 3,210 |
| | Bishop S. | 3,520 | 3,713 | 5,198 | 0,000 | 1,828 | 3,215 |

Fonte: Autor (2018)

Como FS é maior que 1,5 em todos os métodos e superfícies analisados, a contenção está verificada quando à estabilidade local e global. Os valores β de foram maiores que 3,0 (exceto para superfície tipo cunha, ainda que tenha sido próximo ao valor mínimo) e a probabilidade de falha foi zero em todos os métodos e superfícies de ruptura.

3.4.2.3. Etapa 3

Nesta etapa é realizada uma análise econômica que avalia qual das duas escavações (obtidos nas etapas 1 e 2) representa uma alternativa mais econômica para o projeto.

O cálculo foi realizado considerando que a escavação tem 10 de extensão, que é comumente feito no orçamento desse tipo de obra. As tabelas 15 e 16 mostram a planilhas de custos de materiais para a contenção 1 e contenção 2, respectivamente. O detalhamento da quantificação dos materiais está disponível no Apêndice H.

Tabela 15 – Planilha de custos dos materiais – Contenção 1

| ITEM | DESCRIÇÃO | UNID. | QUANT. | PREÇO UNIT. | PREÇO TOTAL |
|------|-------------------------|-------|---------|--------------|---------------------|
| 1 | Aço CA-50 Ø 20 mm | kg | 315,648 | 3,05 | R\$ 962,73 |
| 2 | Tubo de PVC rígido Ø 1" | barra | 2,844 | 11,45 | R\$ 32,57 |
| 3 | Tinta Epoxi (A e B) | conj. | 1,280 | 89,80 | R\$ 114,94 |
| 4 | Tubo de injeção Ø 11 mm | rolo | 3,840 | 20,00 | R\$ 76,80 |
| 5 | Cimento | sc | 119,742 | 16,80 | R\$ 2.011,66 |
| 6 | Areia | m³ | 8,483 | 69,00 | R\$ 585,33 |
| 7 | Pedrisco | m³ | 5,618 | 71,00 | R\$ 398,84 |
| 8 | Fibra sintética | kg | 63,000 | 13,47 | R\$ 848,61 |
| 9 | Tubo de PVC Ø 40 mm | barra | 4,000 | 17,69 | R\$ 70,76 |
| 10 | Fita drenante | rolo | 0,275 | 520,00 | R\$ 143,00 |
| 11 | Aditivo (Rapidíssimo) | sc | 5,250 | 62,60 | R\$ 328,65 |
| 12 | Pincel | unid. | 0,427 | 7,00 | R\$ 2,99 |
| 13 | Thinner | l | 0,128 | 10,00 | R\$ 1,28 |
| 14 | Prego 19 x 36 | kg | 0,275 | 15,00 | R\$ 4,13 |
| | | | | Total | R\$ 5.582,28 |

| | |
|---------------------|-------------------|
| Área Total (m²) | 50,00 |
| Custo por m² | R\$ 111,65 |

Fonte: Autor (2018)

Tabela 16 – Planilha de custos dos materiais – Contenção 2

| ITEM | DESCRIÇÃO | UNID. | QUANT. | PREÇO UNIT. | PREÇO TOTAL |
|------|-------------------------|-------|---------|--------------|---------------------|
| 1 | Aço CA-50 Ø 20 mm | kg | 366,941 | 3,05 | R\$ 1.119,17 |
| 2 | Tubo de PVC rígido Ø 1" | barra | 3,307 | 11,45 | R\$ 37,86 |
| 3 | Tinta Epoxi (A e B) | conj. | 1,488 | 89,80 | R\$ 133,62 |
| 4 | Tubo de injeção Ø 11 mm | rolo | 4,464 | 20,00 | R\$ 89,28 |
| 5 | Cimento | sc | 126,675 | 16,80 | R\$ 2.128,14 |
| 6 | Areia | m³ | 8,483 | 69,00 | R\$ 585,33 |
| 7 | Pedrisco | m³ | 5,618 | 71,00 | R\$ 398,84 |
| 8 | Fibra sintética | kg | 63,000 | 13,47 | R\$ 848,61 |
| 9 | Tubo de PVC Ø 40 mm | barra | 4,000 | 17,69 | R\$ 70,76 |
| 10 | Fita drenante | rolo | 0,275 | 520,00 | R\$ 143,00 |
| 11 | Aditivo (Rapidíssimo) | sc | 5,250 | 62,60 | R\$ 328,65 |
| 12 | Pincel | unid. | 0,496 | 7,00 | R\$ 3,47 |
| 13 | Thinner | l | 0,149 | 10,00 | R\$ 1,49 |
| 14 | Prego 19 x 36 | kg | 0,275 | 15,00 | R\$ 4,13 |
| | | | | Total | R\$ 5.892,35 |

| | |
|---------------------|-------------------|
| Área Total (m²) | 50,00 |
| Custo por m² | R\$ 117,85 |

Fonte: Autor (2018)

A alternativa mais vantajosa é da etapa 1, ou seja, escavação com relação $L/H = 0,8$ sem variação do comprimento dos grampos ao longo da altura. Ela apresenta uma economia de 5,55% no consumo de materiais em relação à escavação da etapa 2.

3.5. Análises dos deslocamentos (Etapa 4)

Por fim, será realizada a última etapa para o dimensionamento do solo grampeado, que é o cálculo dos deslocamentos. O uso de métodos numéricos por meio de programas de elementos finitos bi e tridimensionais permite a simulação de utilização de escoramentos em diferentes posições, bem como a simulação dos efeitos de utilização de paredes com diferente rigidez na estimativa dos deslocamentos dos terrenos vizinhos à escavação (MILITITSKY, 2016).

A escavação foi feita em quatro etapas, com altura de escavação de 1,2 m (Figura 34). Essa escolha foi feita com base nos limites estabelecidos na Tabela 1, e também pensando no aspecto construtivo: o ponto a partir do qual será feita a perfuração deve estar acessível ao operador da perfuratriz manual, uma altura de aproximadamente 60 cm.

Os deslocamentos serão analisados através do software RS^2 durante cada passo de escavação. A malha de elementos é do tipo “*Graded*” com elementos quadrilaterais com 8 nós e a quantidade de elementos e nós são mostrados na Tabela 17.

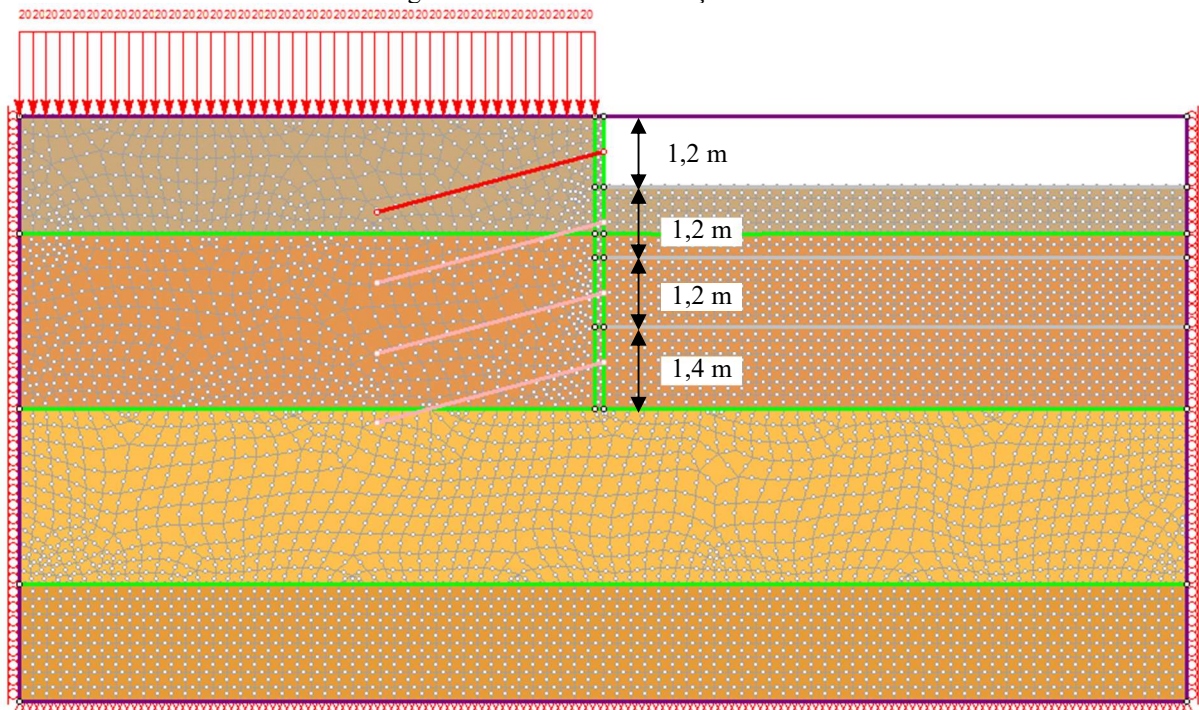
Tabela 17 – Número de elementos e nós da malha de elementos finitos

| Estágio | Nº de elementos | Nº de nós |
|----------------------------|------------------------|------------------|
| 1. Inicial - Sem escavação | 3086 | 9479 |
| 2. Passo 1 | 2834 | 8723 |
| 3. Passo 2 | 2582 | 7967 |
| 4. Passo 3 | 2330 | 7211 |
| 5. Passo 4 | 2078 | 6455 |

Fonte: Autor (2018)

Foi adotado o coeficiente de empuxo de terra “k” igual a 0,8.

Figura 34 – Passos de escavação e malha

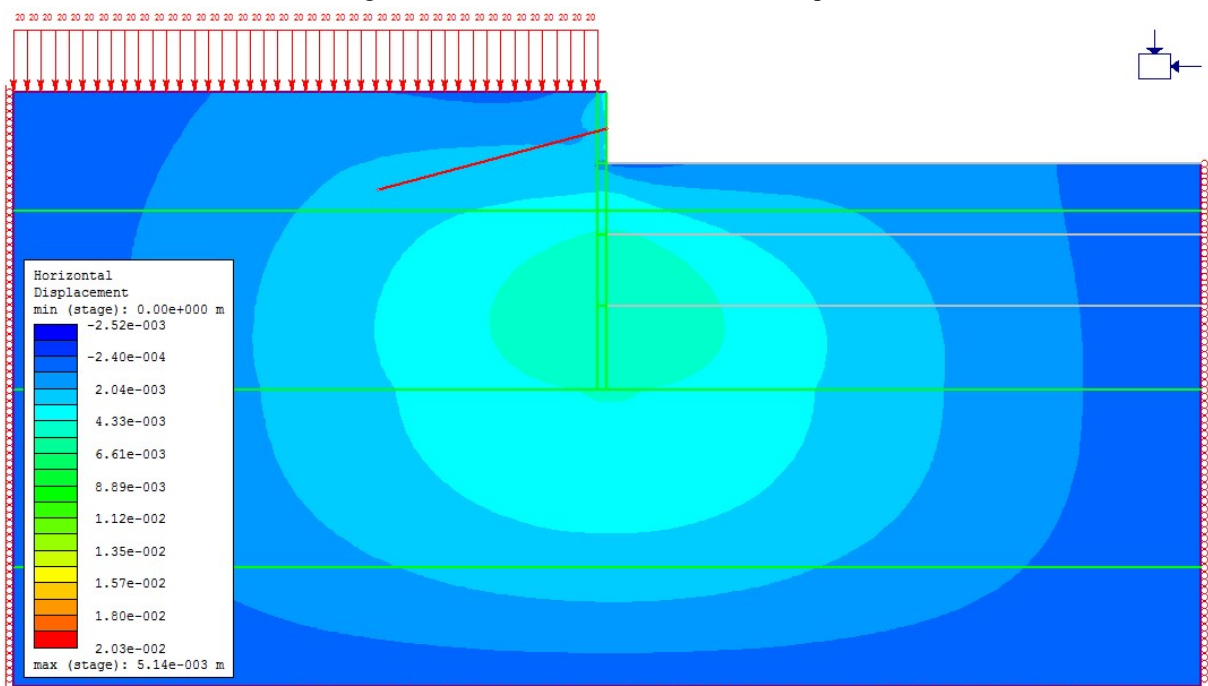


Fonte: Autor (2018)

3.5.1. Deslocamentos horizontais

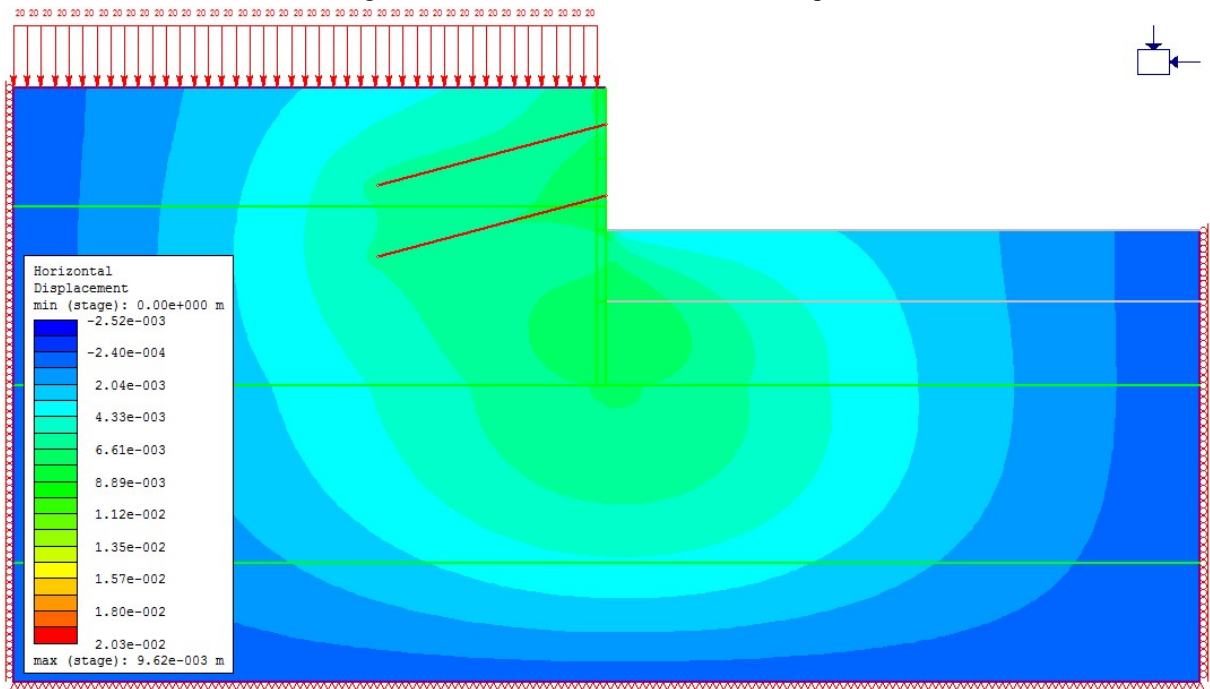
Nas figuras a seguir são apresentados os deslocamentos horizontais na face do paramento obtidos em cada passo de escavação.

Figura 35 – Deslocamentos horizontais – 1º passo



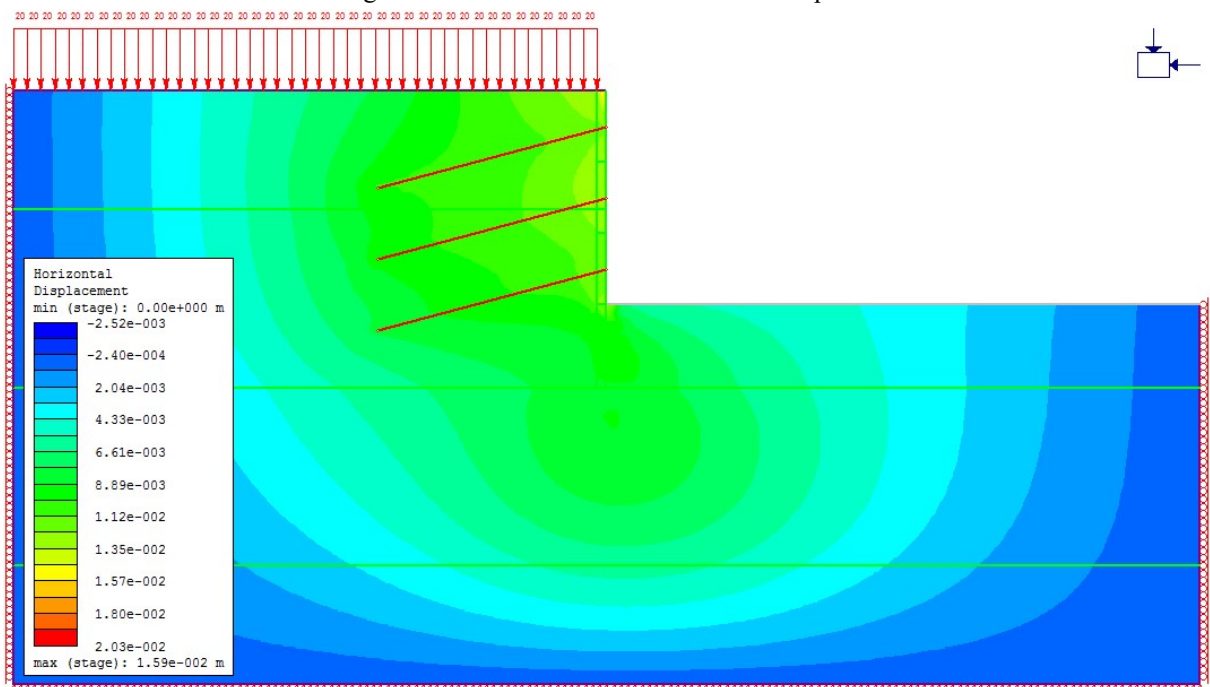
Fonte: Autor (2018)

Figura 36 – Deslocamentos horizontais – 2º passo



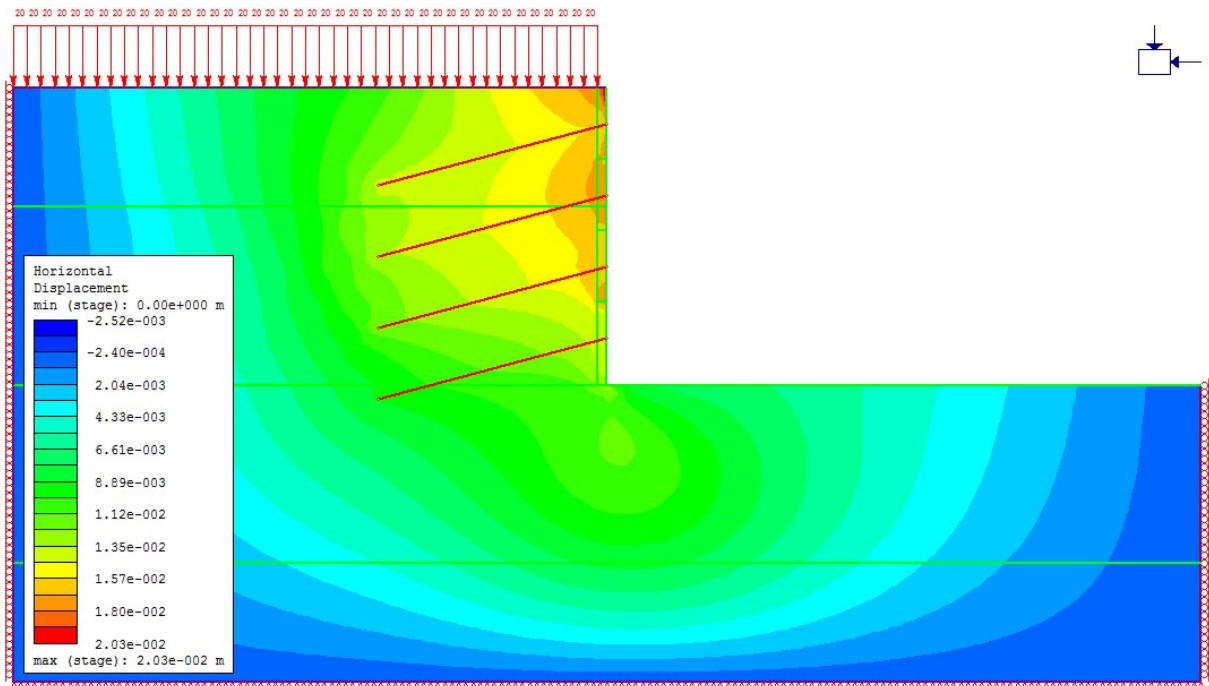
Fonte: Autor (2018)

Figura 37 – Deslocamentos horizontais – 3º passo



Fonte: Autor (2018)

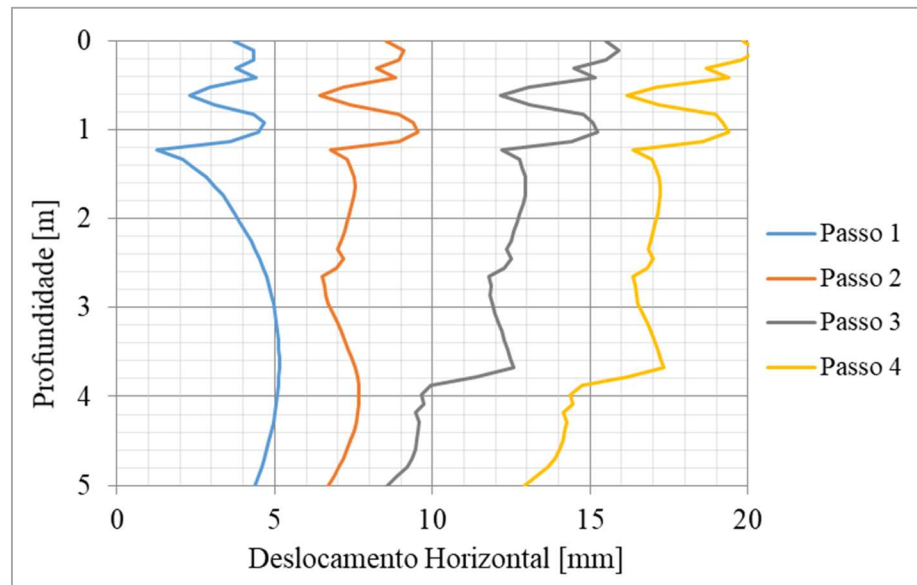
Figura 38 – Deslocamentos horizontais – 4º passo



Fonte: Autor (2018)

Nos últimos passos, os deslocamentos horizontais máximos ocorreram no topo da escavação (Figura 39). O último passo registrou um deslocamento de 20,3 mm.

Figura 39 – Deslocamentos horizontais em cada passo



Fonte: Autor (2018)

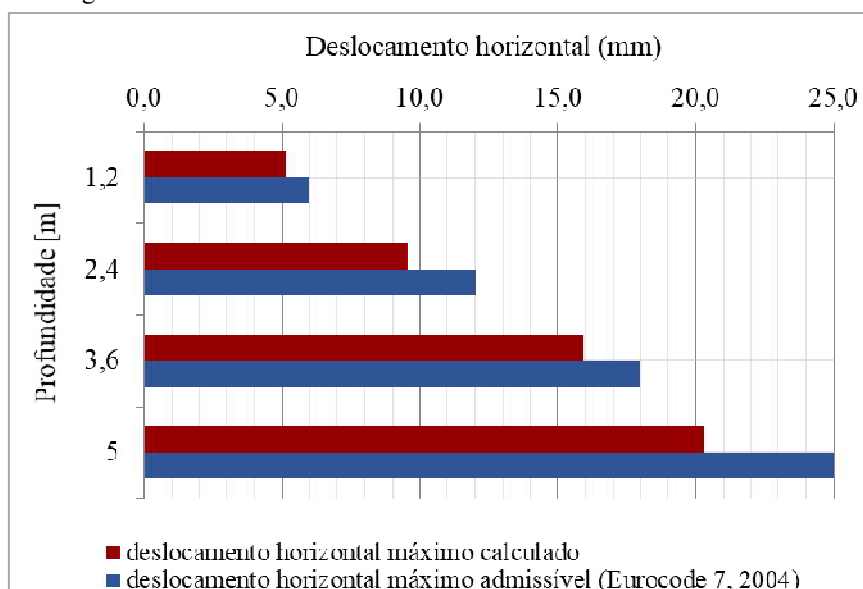
3.5.1.1. Deslocamentos horizontais admissíveis (δ_{adm})

Segundo Garcia e Albuquerque (2017), determinar os deslocamentos admissíveis ou toleráveis que uma estrutura pode absorver sem sofrer danos é uma tarefa complexa, pois não existe claramente na literatura como obtê-los. Dessa forma, os autores recomendam o uso do Eurocode 7 (2004), que indica uma ordem de grandeza dos movimentos necessários para o desenvolvimento de um estado de equilíbrio limite ativo em um terreno não coesivo medianamente denso. Os movimentos de rotação em torno do pé são limitados a $0,005H$, sendo H a altura escavada. A Equação 19, determina o deslocamento admissível para deslocamento no topo.

$$\delta_{adm} = 0,005 \times H \quad \text{Equação 19}$$

Como nesta escavação os deslocamentos máximos não se apresentam somente no topo (como no passo 1) e não há na literatura ou em normas os deslocamentos admissíveis neste caso, a Equação 19 será utilizada também para limitar os deslocamentos ao longo de toda a altura da escavação. A Figura 40 mostra os deslocamentos horizontais máximos obtidos em cada passo da escavação e os seus respectivos limites (em função da altura escavada até então).

Figura 40 – Deslocamentos horizontais máximos obtidos e admissíveis.

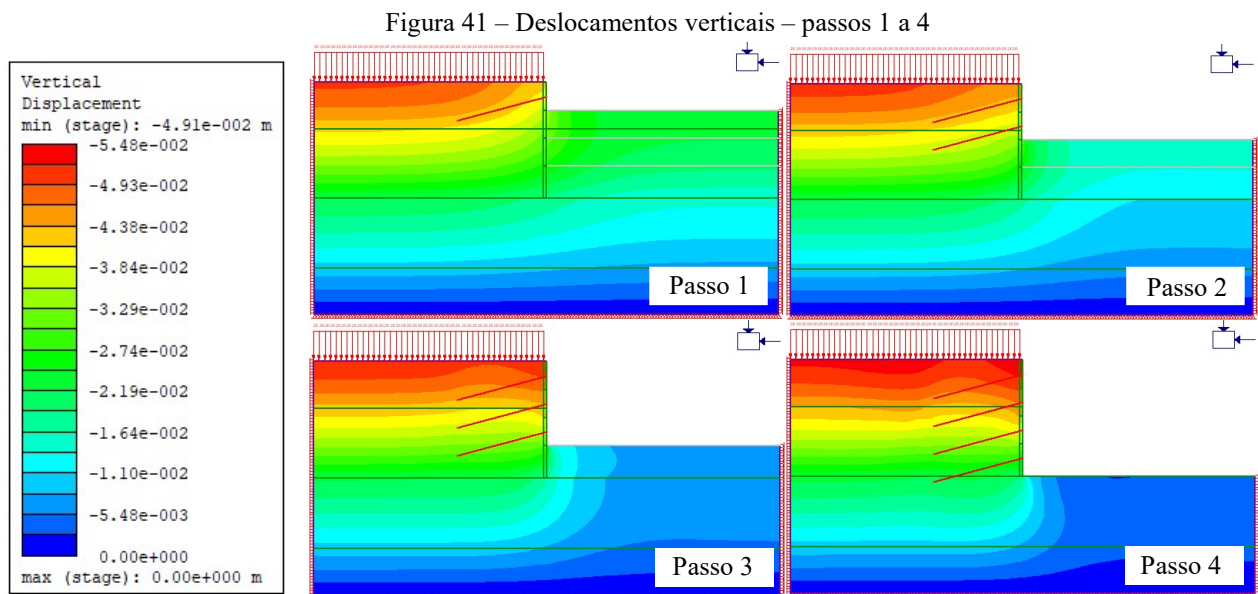


Fonte: Autor (2018)

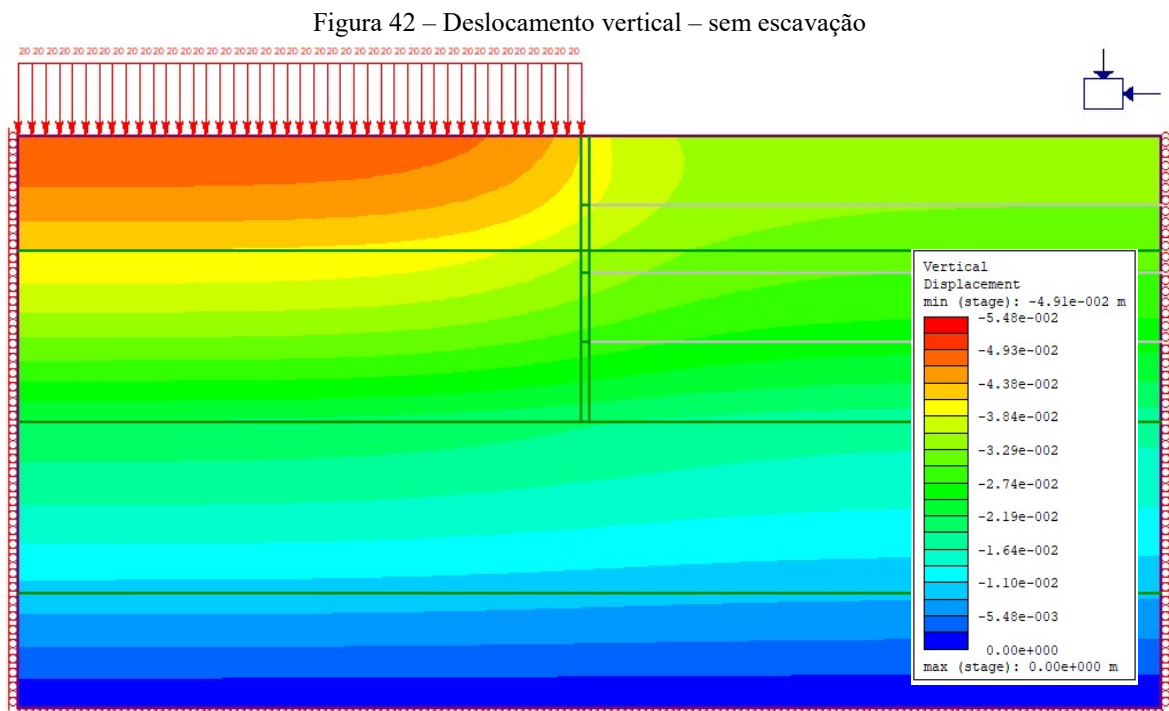
Desta forma, verifica-se que os deslocamentos horizontais são menores que os admissíveis, seja na fase de construção ou na escavação finalizada.

3.5.2. Deslocamentos verticais

A Figura 41 mostra os deslocamentos verticais obtidos no montante da escavação (recalques). Entretanto, destes valores devem ser subtraídos o valor do deslocamento vertical na situação inicial, sem escavação (Figura 42). Sendo assim, após realizada essa subtração, o deslocamento vertical máximo obtido foi de 14,7 mm no passo 4 na face do paramento (Figura 43).

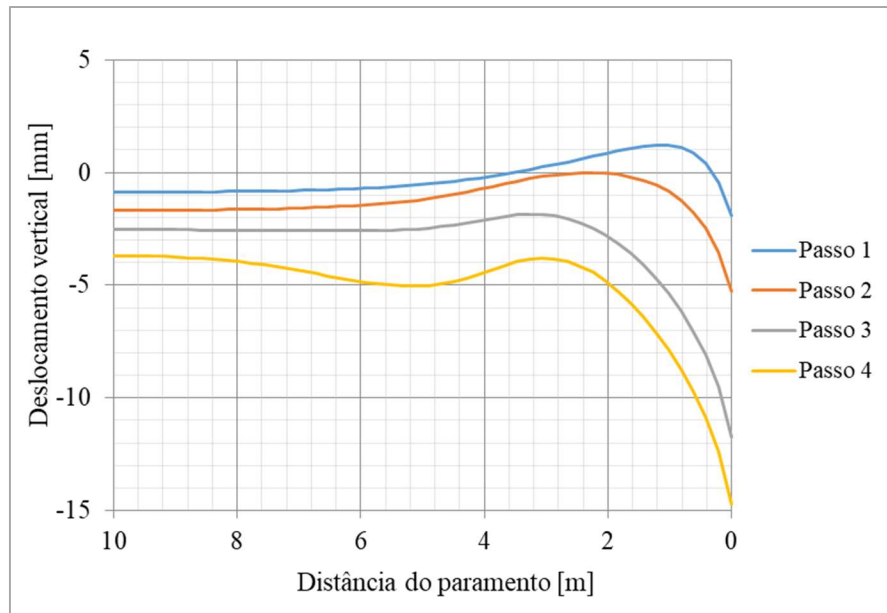


Fonte: Autor (2018)



Fonte: Autor (2018)

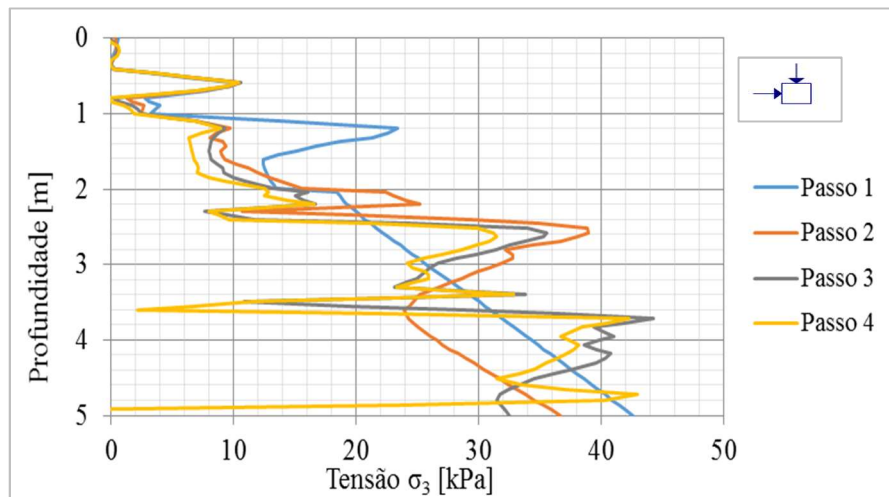
Figura 43 – Deslocamento vertical efetivo – passos 1 a 4



Fonte: Autor (2018)

3.5.3. Tensão σ_3

A tensão σ_3 é utilizada no dimensionamento da armação do paramento. A figura a seguir mostra os valores de tensão σ_3 obtidos na face interna do paramento.

Figura 44 – Tensão σ_3 

Fonte: Autor (2018)

Nota-se que nas profundidades ligeiramente abaixo de onde há grampos, a tensão cai bruscamente (profundidades de 0,6, 1,8, 3,0 e 4,2 m).

4 CONCLUSÃO

A partir das análises numéricas realizadas, concluiu-se que a escavação dimensionada apresentou estabilidade satisfatória e atingiu o fator de segurança estabelecido pela ABNT NBR 11682:2009. Por meio dessas análises foi também possível identificar onde ocorre o deslocamento crítico da contenção, que foi na sua parte superior.

Embora diminuir o comprimento dos grampos nas últimas fileiras seja uma forma de otimizar o projeto, essa solução pode deixar de ser economicamente viável quando há necessidade aumentar o comprimento dos grampos (isto é, aumento da relação L/H) para se manter a condição estável do maciço, visto que essa redução diminui o fator de segurança.

Por fim, a partir dos resultados obtidos verifica-se a importância da realização de análises probabilísticas no dimensionamento de obras geotécnicas para a determinação da probabilidade de falha e do índice de confiabilidade. No caso estudado, mesmo o número de amostra tendo sido elevado, os valores de FS probabilísticos e determinísticos não foram sempre próximos entre si.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERATUNGA, J.; SIVAKUGAN, N.; DAS, B. M. **Correlations of Soil and Rock Properties in Geotechnical Engineering**. New Delhi: Springer India, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 11682:2009 - Estabilidade de encostas**, 2009.

BUDHU, M. **Fundações e Estruturas de Contenção**. [s.l.] LTC, 2013.

BYRNE, R. J. et al. **FHWA-SA-96-69R - Manual for Design and Construction Monitoring of Soil Nail Walls, Federal Highway Administration**, 1998.

CLOUTERRE. **Recommendations Clouterre 1991**. Paris: Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Presses de l'ENPC, 1991.

EUROCODE 7 - Geotechnical Design - part 1. General Rules. Bruxelas: [s.n.].

FABRICIO, J. V. F. **Análises probabilísticas da estabilidade de taludes e contenções**. [s.l.] Pontifícia Universidade Católica Do Rio De Janeiro - PUC-Rio, 2006.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. **FHWA-NHI-14-007 - Geotechnical Engineering Circular No. 7 - Soil Nail Walls - Reference Manual**. Washington: Federal Highway Administration, 2015.

GARCIA, J. R.; ALBUQUERQUE, P. J. R. DE. Análise de estrutura de contenção aplicada em obra de pequeno porte. **Fundações e obras geotécnicas**, p. 40–45, jun. 2017.

GÄSSLER, G. **In situ techniques of reinforced soil**, **Proceedings of the International Reinforced Soil Conference**. Londres: [s.n.]. 1990.

INFRASOLO. **Chumbadores para Solo Grampeado**. Disponível em: <<http://www.infrasoloengenharia.com.br/chumbador-chumbadores-solo-grampeado.php>>.

Acesso em: 13 abr. 2018.

JOPPERT JR., I. **Fundações e Contensões de Edifícios - Qualidade Total na Gestão do Projeto e Execução**. [s.l.] PINI, 2007.

LEMOS, C. A. M. et al. Caldas, argamassas e betões. Caldas de cimento: Aplicações, composição e caracterização. p. 8–12, 2014.

MASSAD, F. **Obras de terra - curso básico de geotecnia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

METÁLICA. **Chumbadores injetados: a qualidade do solo grampeado**. Disponível em: <<http://wwwo.metallica.com.br/chumbadores-injetados-a-qualidade-do-solo-grampeado>>.

Acesso em: 13 abr. 2018.

MILITITSKY, J. **Grandes escavações em perímetro urbano**. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.

ORTIGÃO, J. A. R.; SAYAO, A. S. **Handbook of Slope Stabilisation**. Nova York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH, 2004.

RIBEIRO, S. G. S. **GU6 – Solo Grampeado**. Belo Horizonte, Geofast, 2015.

ROCSCIENCE. **Probabilistic Analysis**. Disponível em: <https://www.rocscience.com/help/slide/webhelp8/pdf_files/tutorials/Tutorial_08_Probabilistic_Analysis.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2018.

RS² 2D FINITE ELEMENT PROGRAM FOR SOIL AND ROCK APPLICATIONS. **RS²**, Rocscience, 2018.

SHONKWILER, R. W.; MENDIVIL, F. **Explorations in Monte Carlo Methods**. New York, NY: Springer New York, 2009.

SOFTWARE SLIDE SLOPE STABILITY ANALYSIS. **Slide 2018**, Rocscience, 2018.

SOLOTRAT. **Solo Grampeado**. Disponível em: <<http://www.solotrat.com.br/assets/pdf/solo-grampeado-solotrat.pdf>>. Acesso em: 2 jan. 2018a.

SOLOTRAT. **Solotrat**. Disponível em: <<http://www.solotrat.com.br/solo-grampeado-solotrat>>. Acesso em: 16 abr. 2018b.

SOLOTRAT. **Solo Grampeado**. Disponível em: <http://www.solotrat.com.br/dados/pt_ManSoloGrampeado.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2018c.

TEIXEIRA, A. T.; GODOY, N. S. **Análise, Projeto e Execução de Fundações Rasas.**
Fundação: Teoria e Prática. São Paulo: PINI, 1996.

ANEXO A – Relatório da análise de estabilidade da escavação sem reforço

APÊNDICE B – Relatório da análise de estabilidade da escavação – pré-dimensionamento

APÊNDICE C – Relatório da análise de estabilidade da escavação – $L/H = 0,8$, comprimento dos grampos constante

APÊNDICE D – Relatório da análise de estabilidade da escavação – $L/H = 0,8$, comprimento dos grampos variável

APÊNDICE E – Relatório da análise de estabilidade da escavação – $L/H = 1,2$, comprimento dos grampos variável

Slide Analysis Information

TCC - Maciço não reforçado

Project Summary

File Name: TCC - Maciço não reforçado.slmd
Slide Modeler Version: 8.008

Currently Open Scenarios

| Group Name | Scenario Name | Global Minimum |
|----------------------|---------------|---|
| MACIÇO NÃO REFORÇADO | Global | Ordinary/fellenius: 0.656031 Bishop Simplified: 0.547825 |
| | Local 0,3H | Ordinary/fellenius: 0.759071 Bishop Simplified: 0.495661 |
| | Local 0,4H | Ordinary/fellenius: 0.657772 Bishop Simplified: 0.502483 |
| | Local Cunha | Ordinary/fellenius: 0.614846 Bishop Simplified: 0.519580 |

General Settings

Units of Measurement: Metric Units
Time Units: days
Permeability Units: meters/second
Data Output: Standard
Failure Direction: Left to Right

Analysis Options

| All Open Scenarios | |
|--|---|
| Slices Type: | Vertical |
| Analysis Methods Used | |
| | Bishop simplified Ordinary/Fellenius |
| Number of slices: | 50 |
| Tolerance: | 0.005 |
| Maximum number of iterations: | 75 |
| Check malpha < 0.2: | Yes |
| Create Interslice boundaries at intersections with water tables and piezoes: | Yes |
| Initial trial value of FS: | 1 |
| Steffensen Iteration: | Yes |

Groundwater Analysis

| All Open Scenarios | |
|---------------------------------------|----------------|
| Groundwater Method: | Water Surfaces |
| Pore Fluid Unit Weight [kN/m3]: | 9.81 |
| Use negative pore pressure cutoff: | Yes |
| Maximum negative pore pressure [kPa]: | 0 |
| Advanced Groundwater Method: | None |

Random Numbers

| All Open Scenarios | |
|----------------------------------|---------------------|
| Pseudo-random Seed: | 10116 |
| Random Number Generation Method: | Park and Miller v.3 |

Surface Options

| MACIÇO NÃO REFORÇADO - Local 0,3H | | All other Scenarios | |
|---|---------------------------|---------------------|------------------|
| Surface Type: | Non-Circular Block Search | Surface Type: | Circular |
| Number of Surfaces: | 5000 | Search Method: | Slope Search |
| Multiple Groups: | Disabled | Number of Surfaces: | 5000 |
| Pseudo-Random Surfaces: | Enabled | Upper Angle [°]: | Not Defined |
| Convex Surfaces Only: | Disabled | Lower Angle [°]: | Not Defined |
| Left Projection Angle (Start Angle) [°]: | 135 | Composite Surfaces: | Disabled |
| Left Projection Angle (End Angle) [°]: | 135 | Reverse Curvature: | Invalid Surfaces |
| Right Projection Angle (Start Angle) [°]: | 45 | Minimum Elevation: | Not Defined |
| Right Projection Angle (End Angle) [°]: | 45 | Minimum Depth: | Not Defined |
| Minimum Elevation: | Not Defined | Minimum Area: | Not Defined |
| Minimum Depth: | Not Defined | Minimum Weight: | Not Defined |
| Minimum Area: | Not Defined | | |
| Minimum Weight: | Not Defined | | |

Seismic Loading

| All Open Scenarios | |
|-------------------------------|----|
| Advanced seismic analysis: | No |
| Staged pseudostatic analysis: | No |

Loading

| All Open Scenarios | |
|------------------------------|--------------------|
| • 1 Distributed Load present | |
| Distributed Load 1 | |
| Distribution: | Constant |
| Magnitude [kPa]: | 20 |
| Orientation: | Normal to boundary |

Materials

| Property | ARGILA ARENOSA | AREIA ARGILOSA | SILTE ARENO ARGILOSO | SILTE ARGILOSO |
|---------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Strength Type | Mohr-Coulomb | Mohr-Coulomb | Mohr-Coulomb | Mohr-Coulomb |
| Unit Weight [kN/m3] | 16 | 18 | 18 | 19 |
| Cohesion [kPa] | 15 | 5 | 15 | 20 |
| Friction Angle [°] | 22.7 | 25 | 26.8 | 31.1 |
| Water Surface | Assigned per scenario | Assigned per scenario | Assigned per scenario | Assigned per scenario |
| Ru Value | 0 | 0 | 0 | 0 |

Materials In Use

| Material | Global | Local 0,3H | Local 0,4H | Local Cunha |
|----------------------|--------|------------|------------|-------------|
| ARGILA ARENOSA | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| AREIA ARGILOSA | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| SILTE ARENO ARGILOSO | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| SILTE ARGILOSO | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

Slice Data

Disponível em arquivo digital – contatar: adileisson_gondim@hotmail.com

Interslice Data

Disponível em arquivo digital – contatar: adileisson_gondim@hotmail.com

Probabilistic/Sensitivity Input Data

| MACIÇO NÃO REFORÇADO - Local 0,3H | | | | | | | All other Scenarios | | | | | | |
|-----------------------------------|-------------|--------------|----------------|-------|-------|--------------------|-------------------------------|-------------|--------------|----------------|-------|-------|--------------------|
| General Settings | | | | | | | General Settings | | | | | | |
| Sensitivity Analysis: | | | Off | | | | Sensitivity Analysis: | | | Off | | | |
| Probabilistic Analysis: | | | On | | | | Probabilistic Analysis: | | | On | | | |
| Spatial Variability Analysis: | | | Off | | | | Spatial Variability Analysis: | | | Off | | | |
| Sampling Method: | | | Monte-Carlo | | | | Sampling Method: | | | Monte-Carlo | | | |
| Number of Samples: | | | 5000 | | | | Number of Samples: | | | 5000 | | | |
| Analysis Type: | | | Global Minimum | | | | Analysis Type: | | | Global Minimum | | | |
| Variables | | | | | | | Variables | | | | | | |
| Material | Property | Distribution | Mean | Min | Max | Standard Deviation | Material | Property | Distribution | Mean | Min | Max | Standard Deviation |
| ARGILA ARENOSA | Cohesion | Normal | 15 | 3 | 27 | 6 | ARGILA ARENOSA | Cohesion | Normal | 15 | 3 | 27 | 6 |
| ARGILA ARENOSA | Phi | Normal | 22.7 | 0 | 45.4 | 11.35 | ARGILA ARENOSA | Phi | Normal | 22.7 | 0 | 45.4 | 11.35 |
| ARGILA ARENOSA | Unit Weight | Normal | 16 | 13.76 | 18.24 | 1.12 | ARGILA ARENOSA | Unit Weight | Normal | 16 | 13.76 | 18.24 | 1.12 |
| AREIA ARGILOSA | Cohesion | Normal | 5 | 1 | 9 | 2 | AREIA ARGILOSA | Cohesion | Normal | 5 | 1 | 9 | 2 |
| AREIA ARGILOSA | Phi | Normal | 25 | 20 | 30 | 2.5 | AREIA ARGILOSA | Phi | Normal | 25 | 20 | 30 | 2.5 |
| AREIA ARGILOSA | Unit Weight | Normal | 18 | 15.48 | 20.52 | 1.26 | AREIA ARGILOSA | Unit Weight | Normal | 18 | 15.48 | 20.52 | 1.26 |
| SILTE ARENO ARGILOSO | Cohesion | Normal | 15 | 3 | 27 | 6 | SILTE ARENO ARGILOSO | Cohesion | Normal | 15 | 3 | 27 | 6 |
| SILTE ARENO ARGILOSO | Phi | Normal | 26.8 | 21.44 | 32.16 | 2.68 | SILTE ARENO ARGILOSO | Phi | Normal | 26.8 | 21.44 | 32.16 | 2.68 |
| SILTE ARENO ARGILOSO | Unit Weight | Normal | 18 | 15.48 | 20.52 | 1.26 | SILTE ARENO ARGILOSO | Unit Weight | Normal | 18 | 15.48 | 20.52 | 1.26 |
| SILTE ARGILOSO | Cohesion | Normal | 20 | 4 | 36 | 8 | SILTE ARGILOSO | Cohesion | Normal | 20 | 4 | 36 | 8 |
| SILTE ARGILOSO | Phi | Normal | 31.1 | 0 | 62.2 | 15.55 | SILTE ARGILOSO | Phi | Normal | 31.1 | 0 | 62.2 | 15.55 |
| SILTE ARGILOSO | Unit Weight | Normal | 19 | 16.34 | 21.66 | 1.33 | SILTE ARGILOSO | Unit Weight | Normal | 19 | 16.34 | 21.66 | 1.33 |

Global Minimums

| MACIÇO NÃO REFORÇADO - Global | | MACIÇO NÃO REFORÇADO - Local 0,3H | | MACIÇO NÃO REFORÇADO - Local 0,4H | | MACIÇO NÃO REFORÇADO - Local Cunha | |
|-------------------------------|-----------------|-----------------------------------|-----------------|-----------------------------------|-----------------|------------------------------------|-----------------|
| Method: ordinary/fellenius | | Method: ordinary/fellenius | | Method: ordinary/fellenius | | Method: ordinary/fellenius | |
| FS | 0.656031 | FS | 0.759071 | FS | 0.657772 | FS | 0.614846 |
| Center: | 14.977, 10.324 | Axis Location: | 14.250, 9.000 | Axis Location: | 14.000, 9.500 | Axis Location: | 13.372, 10.756 |
| Radius: | 7.235 | Left Slip Surface Endpoint: | 8.500, 10.000 | Left Slip Surface Endpoint: | 8.000, 10.000 | Left Slip Surface Endpoint: | 6.744, 10.000 |
| Left Slip Surface Endpoint: | 7.749, 10.000 | Right Slip Surface Endpoint: | 10.000, 5.000 | Right Slip Surface Endpoint: | 10.000, 5.000 | Right Slip Surface Endpoint: | 10.000, 5.000 |
| Right Slip Surface Endpoint: | 10.000, 5.073 | Left Slope Intercept: | 8.500 10.000 | Left Slope Intercept: | 8.000 10.000 | Left Slope Intercept: | 6.744 10.000 |
| Left Slope Intercept: | 7.749 10.000 | Right Slope Intercept: | 10.000 10.000 | Right Slope Intercept: | 10.000 10.000 | Right Slope Intercept: | 10.000 10.000 |
| Right Slope Intercept: | 10.000 10.000 | Resisting Moment: | 433.153 kN-m | Resisting Moment: | 471.897 kN-m | Resisting Moment: | 618.599 kN-m |
| Resisting Moment: | 663.695 kN-m | Driving Moment: | 570.636 kN-m | Driving Moment: | 717.417 kN-m | Driving Moment: | 1006.1 kN-m |
| Driving Moment: | 1011.68 kN-m | Total Slice Area: | 5.3125 m2 | Total Slice Area: | 6.25 m2 | Total Slice Area: | 8.14 m2 |
| Total Slice Area: | 7.45462 m2 | Surface Horizontal Width: | 1.5 m | Surface Horizontal Width: | 2 m | Surface Horizontal Width: | 3.256 m |
| Surface Horizontal Width: | 2.25054 m | Surface Average Height: | 3.54167 m | Surface Average Height: | 3.125 m | Surface Average Height: | 2.5 m |
| Surface Average Height: | 3.31237 m | | | | | | |
| Method: bishop simplified | | Method: bishop simplified | | Method: bishop simplified | | Method: bishop simplified | |
| FS | 0.547825 | FS | 0.495661 | FS | 0.502483 | FS | 0.519580 |
| Center: | 15.069, 10.143 | Axis Location: | 14.250, 9.000 | Axis Location: | 14.000, 9.500 | Axis Location: | 13.372, 10.756 |
| Radius: | 7.070 | Left Slip Surface Endpoint: | 8.500, 10.000 | Left Slip Surface Endpoint: | 8.000, 10.000 | Left Slip Surface Endpoint: | 6.744, 10.000 |
| Left Slip Surface Endpoint: | 8.001, 10.000 | Right Slip Surface Endpoint: | 10.000, 5.000 | Right Slip Surface Endpoint: | 10.000, 5.000 | Right Slip Surface Endpoint: | 10.000, 5.000 |
| Right Slip Surface Endpoint: | 10.000, 5.215 | Left Slope Intercept: | 8.500 10.000 | Left Slope Intercept: | 8.000 10.000 | Left Slope Intercept: | 6.744 10.000 |
| Left Slope Intercept: | 8.001 10.000 | Right Slope Intercept: | 10.000 10.000 | Right Slope Intercept: | 10.000 10.000 | Right Slope Intercept: | 10.000 10.000 |
| Right Slope Intercept: | 10.000 10.000 | Resisting Moment: | 301.49 kN-m | Resisting Moment: | 386.046 kN-m | Resisting Moment: | 6.744 10.000 |
| Resisting Moment: | 484.06 kN-m | | | | | | |
| Driving Moment: | 883.602 kN-m | | | | | | |

| | | | | | | | |
|---------------------------|------------|---------------------------|--------------|---------------------------|--------------|---------------------------|---------------|
| Total Slice Area: | 6.49297 m2 | Driving Moment: | 608.258 kN-m | Driving Moment: | 768.277 kN-m | Right Slope Intercept: | 10.000 10.000 |
| Surface Horizontal Width: | 1.999 m | Total Slice Area: | 5.3125 m2 | Total Slice Area: | 6.25 m2 | Resisting Moment: | 567.403 kN-m |
| Surface Average Height: | 3.2481 m | Surface Horizontal Width: | 1.5 m | Surface Horizontal Width: | 2 m | Driving Moment: | 1092.04 kN-m |
| | | Surface Average Height: | 3.54167 m | Surface Average Height: | 3.125 m | Total Slice Area: | 8.14 m2 |
| | | | | | | Surface Horizontal Width: | 3.256 m |
| | | | | | | Surface Average Height: | 2.5 m |

Valid/Invalid Surfaces

| MACIÇO NÃO REFORÇADO - Global | MACIÇO NÃO REFORÇADO - Local 0,3H | MACIÇO NÃO REFORÇADO - Local 0,4H | MACIÇO NÃO REFORÇADO - Local Cunha |
|---|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| Method: ordinary/fellenius | Method: ordinary/fellenius | Method: ordinary/fellenius | Method: ordinary/fellenius |
| Number of Valid Surfaces: 2741 | Number of Valid Surfaces: 1 | Number of Valid Surfaces: 1 | Number of Valid Surfaces: 1 |
| Number of Invalid Surfaces: 2259 | Number of Invalid Surfaces: 0 | Number of Invalid Surfaces: 0 | Number of Invalid Surfaces: 0 |
| Error Codes: | Method: bishop simplified | Method: bishop simplified | Method: bishop simplified |
| <ul style="list-style-type: none"> o Error Code -103 reported for 3 surfaces o Error Code -114 reported for 2256 surfaces | Number of Valid Surfaces: 1 | Number of Valid Surfaces: 1 | Number of Valid Surfaces: 1 |
| Method: bishop simplified | Number of Invalid Surfaces: 0 | Number of Invalid Surfaces: 0 | Number of Invalid Surfaces: 0 |
| Number of Valid Surfaces: 2741 | | | |
| Number of Invalid Surfaces: 2259 | | | |
| Error Codes: | | | |
| <ul style="list-style-type: none"> o Error Code -103 reported for 3 surfaces o Error Code -114 reported for 2256 surfaces | | | |

Probabilistic Analysis Results (Global Minimum)

| MACIÇO NÃO REFORÇADO - Global | MACIÇO NÃO REFORÇADO - Local 0,3H | MACIÇO NÃO REFORÇADO - Local 0,4H | MACIÇO NÃO REFORÇADO - Local Cunha |
|---|---|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Method: ordinary/fellenius • Factor of Safety, mean: 0.659094 • Factor of Safety, standard deviation: 0.095234 • Factor of Safety, minimum: 0.371056 • Factor of Safety, maximum: 0.977834 • Probability of Failure: 100.000% (= 5000 failed surfaces / 5000 valid surfaces) • Reliability index: -3.57968 (assuming normal distribution) • Reliability index: -2.97205 (assuming lognormal distribution) <ul style="list-style-type: none"> • * best fit = Beta • Method: bishop simplified • Factor of Safety, mean: 0.555427 • Factor of Safety, standard deviation: 0.079549 • Factor of Safety, minimum: 0.347541 • Factor of Safety, maximum: 0.924696 • Probability of Failure: 100.000% (= 4775 failed surfaces / 4775 valid surfaces), 225 invalid surfaces • Reliability index: -5.58870 (assuming normal distribution) • Reliability index: -4.19786 (assuming lognormal distribution) * best fit = Lognormal | <ul style="list-style-type: none"> • Method: ordinary/fellenius • Factor of Safety, mean: 0.762584 • Factor of Safety, standard deviation: 0.124812 • Factor of Safety, minimum: 0.390555 • Factor of Safety, maximum: 1.177010 • Probability of Failure: 97.800% (= 4890 failed surfaces / 5000 valid surfaces) • Reliability index: -1.90218 (assuming normal distribution) • Reliability index: -1.74832 (assuming lognormal distribution) <ul style="list-style-type: none"> • * best fit = Beta • Method: bishop simplified • Factor of Safety, mean: 0.497106 • Factor of Safety, standard deviation: 0.065613 • Factor of Safety, minimum: 0.316322 • Factor of Safety, maximum: 0.695919 • Probability of Failure: 100.000% (= 4939 failed surfaces / 4939 valid surfaces), 61 invalid surfaces • Reliability index: -7.66452 (assuming normal distribution) • Reliability index: -5.38414 (assuming lognormal distribution) <ul style="list-style-type: none"> • * best fit = Beta | <ul style="list-style-type: none"> • Method: ordinary/fellenius • Factor of Safety, mean: 0.661132 • Factor of Safety, standard deviation: 0.104045 • Factor of Safety, minimum: 0.350291 • Factor of Safety, maximum: 0.995934 • Probability of Failure: 100.000% (= 5000 failed surfaces / 5000 valid surfaces) • Reliability index: -3.25695 (assuming normal distribution) • Reliability index: -2.72379 (assuming lognormal distribution) <ul style="list-style-type: none"> • * best fit = Beta • Method: bishop simplified • Factor of Safety, mean: 0.508671 • Factor of Safety, standard deviation: 0.065682 • Factor of Safety, minimum: 0.328332 • Factor of Safety, maximum: 0.842033 • Probability of Failure: 100.000% (= 5000 failed surfaces / 5000 valid surfaces) • Reliability index: -7.48045 (assuming normal distribution) * best fit = Normal • Reliability index: -5.32092 (assuming lognormal distribution) | <ul style="list-style-type: none"> • Method: ordinary/fellenius • Factor of Safety, mean: 0.619450 • Factor of Safety, standard deviation: 0.093457 • Factor of Safety, minimum: 0.327097 • Factor of Safety, maximum: 0.913924 • Probability of Failure: 100.000% (= 5000 failed surfaces / 5000 valid surfaces) • Reliability index: -4.07192 (assuming normal distribution) • Reliability index: -3.26734 (assuming lognormal distribution) <ul style="list-style-type: none"> • * best fit = Beta • Method: bishop simplified • Factor of Safety, mean: 0.521795 • Factor of Safety, standard deviation: 0.064426 • Factor of Safety, minimum: 0.320556 • Factor of Safety, maximum: 0.793704 • Probability of Failure: 100.000% (= 5000 failed surfaces / 5000 valid surfaces) • Reliability index: -7.42258 (assuming normal distribution) * best fit = Normal • Reliability index: -5.34985 (assuming lognormal distribution) |

Entity Information

Group: MACIÇO NÃO REFORÇADO

Shared Entities

| Type | Coordinates |
|-------------------|-------------|
| External Boundary | X Y |
| | 20 0 |
| | 20 2 |
| | 20 5 |
| | 10 5 |
| | 10 8 |
| | 10 10 |
| | 0 10 |
| Material Boundary | X Y |
| | 0 8 |
| | 10 8 |
| Material Boundary | X Y |
| | 0 5 |
| Material Boundary | X Y |
| | 0 2 |
| Material Boundary | X Y |
| | 20 2 |

Scenario-based Entities

| Type | Coordinates | Global | Local 0,3H | Local 0,4H | Local Cunha | |
|------------------------------|-------------|---|------------|---|---|---|
| Distributed Load | X Y | Constant Distribution Orientation: Normal to boundary Magnitude: 20 kN/m2 Creates Excess Pore Pressure: No | | Constant Distribution Orientation: Normal to boundary Magnitude: 20 kN/m2 Creates Excess Pore Pressure: No | Constant Distribution Orientation: Normal to boundary Magnitude: 20 kN/m2 Creates Excess Pore Pressure: No | Constant Distribution Orientation: Normal to boundary Magnitude: 20 kN/m2 Creates Excess Pore Pressure: No |
| | 10 10 | | | | | |
| Non-Circular Failure Surface | X Y | X | ✓ | X | X | |
| | 8.5 10 | | | | | |
| | 9 6.25 | | | | | |
| Non-Circular Failure Surface | X Y | X | X | ✓ | X | |
| | 8 10 | | | | | |
| | 9 6.25 | | | | | |
| Non-Circular Failure Surface | X Y | X | X | X | ✓ | |
| | 6.744 10 | | | | | |
| | 10 5 | | | | | |

APÊNDICE F – Relatórios da análise de deslocamentos das escavações

Slide Analysis Information

TCC - Pre dimensionamento

Project Summary

File Name: TCC - Pre dimensionamento.slm
Slide Modeler Version: 8.008

Currently Open Scenarios

| Group Name | Scenario Name | Global Minimum | Compute Time |
|---------------------|---------------|---|-----------------|
| PRÉ DIMENSIONAMENTO | Global | Ordinary/fellenius: 2.901450 Bishop Simplified: 3.090540 | 00h:00m:01.864s |
| | Local 0,3H | Ordinary/fellenius: 3.250250 Bishop Simplified: 2.993570 | 00h:00m:01.246s |
| | Local 0,4H | Ordinary/fellenius: 3.620880 Bishop Simplified: 3.420080 | 00h:00m:01.68s |
| | Local Cunha | Ordinary/fellenius: 4.692480 Bishop Simplified: 4.600550 | 00h:00m:01.346s |

General Settings

Units of Measurement: Metric Units
Time Units: days
Permeability Units: meters/second
Data Output: Standard
Failure Direction: Left to Right

Analysis Options

| All Open Scenarios | |
|---|---|
| Slices Type: | Vertical |
| Analysis Methods Used | |
| | Bishop simplified Ordinary/Fellenius |
| Number of slices: | 50 |
| Tolerance: | 0.005 |
| Maximum number of iterations: | 75 |
| Check malpha < 0.2: | Yes |
| Create Interslice boundaries at intersections with water tables and piezos: | Yes |
| Initial trial value of FS: | 1 |
| Steffensen Iteration: | Yes |

Groundwater Analysis

| All Open Scenarios | |
|---------------------------------------|----------------|
| Groundwater Method: | Water Surfaces |
| Pore Fluid Unit Weight [kN/m3]: | 9.81 |
| Use negative pore pressure cutoff: | Yes |
| Maximum negative pore pressure [kPa]: | 0 |
| Advanced Groundwater Method: | None |

Random Numbers

| All Open Scenarios | |
|----------------------------------|---------------------|
| Pseudo-random Seed: | 10116 |
| Random Number Generation Method: | Park and Miller v.3 |

Surface Options

| PRÉ DIMENSIONAMENTO - Local 0,3H | | All other Scenarios | |
|---|---------------------------|---------------------|------------------|
| Surface Type: | Non-Circular Block Search | Surface Type: | Circular |
| Number of Surfaces: | 5000 | Search Method: | Slope Search |
| Multiple Groups: | Disabled | Number of Surfaces: | 5000 |
| Pseudo-Random Surfaces: | Enabled | Upper Angle [°]: | Not Defined |
| Convex Surfaces Only: | Disabled | Lower Angle [°]: | Not Defined |
| Left Projection Angle (Start Angle) [°]: | 135 | Composite Surfaces: | Disabled |
| Left Projection Angle (End Angle) [°]: | 135 | Reverse Curvature: | Invalid Surfaces |
| Right Projection Angle (Start Angle) [°]: | 45 | Minimum Elevation: | Not Defined |
| Right Projection Angle (End Angle) [°]: | 45 | Minimum Depth: | Not Defined |
| Minimum Elevation: | Not Defined | Minimum Area: | Not Defined |
| Minimum Depth: | Not Defined | Minimum Weight: | Not Defined |
| Minimum Area: | Not Defined | | |
| Minimum Weight: | Not Defined | | |

Seismic Loading

| All Open Scenarios | |
|-------------------------------|----|
| Advanced seismic analysis: | No |
| Staged pseudostatic analysis: | No |

Materials

| Property | MÉDIA CAMADAS | CONCRETO PROJETADO |
|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Color | | |
| Strength Type | Mohr-Coulomb | Mohr-Coulomb |
| Unit Weight [kN/m ³] | 17.9 | 25 |
| Cohesion [kPa] | 13.6 | 300 |
| Friction Angle [°] | 26.7 | 50 |
| Water Surface | Assigned per scenario | Assigned per scenario |
| Ru Value | 0 | 0 |

Materials In Use

| Material | Global | Local 0,3H | Local 0,4H | Local Cunha |
|--------------------|--------|------------|------------|-------------|
| MÉDIA CAMADAS | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| CONCRETO PROJETADO | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

Support

GRAMPO D100mm

- Support Type: Soil Nail
- Force Application: Active
- Force Orientation: Parallel to Reinforcement
- Out-of-Plane Spacing: 1.2 m
- Tensile Capacity: 136.6 kN
- Plate Capacity: 100 kN
- Bond Strength: 29.4 kN/m

Slice Data

Disponível em arquivo digital – contatar: adileisson_gondim@hotmail.com

Interslice Data

Disponível em arquivo digital – contatar: adileisson_gondim@hotmail.com

Probabilistic/Sensitivity Input Data

| PRÉ DIMENSIONAMENTO - Local 0,3H | | | | | | | All other Scenarios | | | | | | |
|----------------------------------|---------------|--------------|----------------|-------|-------|--------------------|-------------------------------|---------------|--------------|----------------|-------|-------|--------------------|
| General Settings | | | | | | | General Settings | | | | | | |
| Sensitivity Analysis: | | | Off | | | | Sensitivity Analysis: | | | Off | | | |
| Probabilistic Analysis: | | | On | | | | Probabilistic Analysis: | | | On | | | |
| Spatial Variability Analysis: | | | Off | | | | Spatial Variability Analysis: | | | Off | | | |
| Sampling Method: | | | Monte-Carlo | | | | Sampling Method: | | | Monte-Carlo | | | |
| Number of Samples: | | | 5000 | | | | Number of Samples: | | | 5000 | | | |
| Analysis Type: | | | Global Minimum | | | | Analysis Type: | | | Global Minimum | | | |
| Variables | | | | | | | Variables | | | | | | |
| Material | Property | Distribution | Mean | Min | Max | Standard Deviation | Material | Property | Distribution | Mean | Min | Max | Standard Deviation |
| MÉDIA CAMADAS | Cohesion | Normal | 13.6 | 2.72 | 24.48 | 5.44 | MÉDIA CAMADAS | Cohesion | Normal | 13.6 | 2.72 | 24.48 | 5.44 |
| MÉDIA CAMADAS | Phi | Normal | 26.7 | 0 | 53.4 | 13.35 | MÉDIA CAMADAS | Phi | Normal | 26.7 | 0 | 53.4 | 13.35 |
| MÉDIA CAMADAS | Unit Weight | Normal | 17.9 | 15.39 | 20.41 | 1.25 | MÉDIA CAMADAS | Unit Weight | Normal | 17.9 | 15.39 | 20.41 | 1.25 |
| Support | Property | Distribution | Mean | Min | Max | Standard Deviation | Support | Property | Distribution | Mean | Min | Max | Standard Deviation |
| GRAMPO D100mm | Bond Strength | Normal | 29.4 | 5.88 | 52.92 | 11.76 | GRAMPO D100mm | Bond Strength | Normal | 29.4 | 5.88 | 52.92 | 11.76 |

Global Minimums

| PRÉ DIMENSIONAMENTO - Global | | PRÉ DIMENSIONAMENTO - Local 0,3H | | PRÉ DIMENSIONAMENTO - Local 0,4H | | PRÉ DIMENSIONAMENTO - Local Cunha | |
|------------------------------|-----------------|----------------------------------|-----------------|----------------------------------|-----------------|-----------------------------------|-----------------|
| Method: ordinary/fellenius | | Method: ordinary/fellenius | | Method: ordinary/fellenius | | Method: ordinary/fellenius | |
| FS | 2.901450 | FS | 3.250250 | FS | 3.620880 | FS | 4.692480 |
| Center: | 9.410, 12.309 | Axis Location: | 14.250, 9.000 | Axis Location: | 14.000, 9.500 | Axis Location: | 13.372, 10.756 |
| Radius: | 7.353 | Left Slip Surface Endpoint: | 8.500, 10.000 | Left Slip Surface Endpoint: | 8.000, 10.000 | Left Slip Surface Endpoint: | 6.744, 10.000 |
| Right Slip Surface Endpoint: | 10.211, 5.000 | Right Slip Surface Endpoint: | 10.000, 5.000 | Right Slip Surface Endpoint: | 10.000, 5.000 | Right Slip Surface Endpoint: | 10.000, 5.000 |
| Resisting Moment: | 2812.73 kN-m | Left Slope Intercept: | 8.500 10.000 | Left Slope Intercept: | 8.000 10.000 | Left Slope Intercept: | 6.744 10.000 |
| Driving Moment: | 969.423 kN-m | Right Slope Intercept: | 10.000 10.000 | Right Slope Intercept: | 10.000 10.000 | Right Slope Intercept: | 10.000 10.000 |
| Active Support Moment: | -302.818 kN-m | Resisting Moment: | 1800.93 kN-m | Resisting Moment: | 1831.67 kN-m | Resisting Moment: | 1970.74 kN-m |
| Total Slice Area: | 28.7317 m2 | Driving Moment: | 554.089 kN-m | Driving Moment: | 505.862 kN-m | Driving Moment: | 419.98 kN-m |
| Surface Horizontal Width: | 7.78109 m | Active Support Moment: | -0.761466 kN-m | Active Support Moment: | -169.369 kN-m | Active Support Moment: | -544.611 kN-m |
| Surface Average Height: | 3.69251 m | Total Slice Area: | 5.3125 m2 | Total Slice Area: | 6.25 m2 | Total Slice Area: | 8.14 m2 |
| | | Surface Horizontal Width: | 1.5 m | Surface Horizontal Width: | 2 m | Surface Horizontal Width: | 3.256 m |
| | | Surface Average Height: | 3.54167 m | Surface Average Height: | 3.125 m | Surface Average Height: | 2.5 m |
| Method: bishop simplified | | Method: bishop simplified | | Method: bishop simplified | | Method: bishop simplified | |
| FS | 3.090540 | FS | 2.993570 | FS | 3.420080 | FS | 4.600550 |
| Center: | 9.410, 12.309 | Axis Location: | 14.250, 9.000 | Axis Location: | 14.000, 9.500 | Axis Location: | 13.372, 10.756 |
| Radius: | 7.353 | Left Slip Surface Endpoint: | 8.500, 10.000 | Left Slip Surface Endpoint: | 8.000, 10.000 | Left Slip Surface Endpoint: | 6.744, 10.000 |
| Right Slip Surface Endpoint: | 10.211, 5.000 | Right Slip Surface Endpoint: | 10.000, 5.000 | Right Slip Surface Endpoint: | 10.000, 5.000 | Right Slip Surface Endpoint: | 10.000, 5.000 |
| Resisting Moment: | 2996.04 kN-m | Left Slope Intercept: | 8.500 10.000 | Left Slope Intercept: | 8.000 10.000 | Left Slope Intercept: | 6.744 10.000 |
| Driving Moment: | 969.423 kN-m | Right Slope Intercept: | 10.000 10.000 | Right Slope Intercept: | 10.000 10.000 | Right Slope Intercept: | 10.000 10.000 |
| | | Resisting Moment: | 1795.77 kN-m | Resisting Moment: | 1801.37 kN-m | Resisting Moment: | 1801.37 kN-m |

| | | | | | | | |
|---------------------------|------------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------|---------------------|
| Active Support Moment: | -302.818 kN-m | Driving Moment: | 599.875 kN-m | Driving Moment: | 526.703 kN-m | Right Slope Intercept: | 10.000 10.000 |
| Total Slice Area: | 28.7317 m ² | Active Support Moment: | -0.761466 kN-m | Active Support Moment: | -169.369 kN-m | Resisting Moment: | 1943.74 kN-m |
| Surface Horizontal Width: | 7.78109 m | Total Slice Area: | 5.3125 m ² | Total Slice Area: | 6.25 m ² | Driving Moment: | 422.501 kN-m |
| Surface Average Height: | 3.69251 m | Surface Horizontal Width: | 1.5 m | Surface Horizontal Width: | 2 m | Active Support Moment: | -544.611 kN-m |
| | | Surface Average Height: | 3.54167 m | Surface Average Height: | 3.125 m | Total Slice Area: | 8.14 m ² |
| | | | | | | Surface Horizontal Width: | 3.256 m |
| | | | | | | Surface Average Height: | 2.5 m |

Valid/Invalid Surfaces

| PRÉ DIMENSIONAMENTO - Global | PRÉ DIMENSIONAMENTO - Local 0,3H | PRÉ DIMENSIONAMENTO - Local 0,4H | PRÉ DIMENSIONAMENTO - Local Cunha |
|--|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Method: ordinary/fellenius | Method: ordinary/fellenius | Method: ordinary/fellenius | Method: ordinary/fellenius |
| Number of Valid Surfaces: 1112 | Number of Valid Surfaces: 1 | Number of Valid Surfaces: 1 | Number of Valid Surfaces: 1 |
| Number of Invalid Surfaces: 3888 | Number of Invalid Surfaces: 0 | Number of Invalid Surfaces: 0 | Number of Invalid Surfaces: 0 |
| Error Codes: | Method: bishop simplified | Method: bishop simplified | Method: bishop simplified |
| <ul style="list-style-type: none"> ○ Error Code -103 reported for 20 surfaces ○ Error Code -114 reported for 3868 surfaces | Number of Valid Surfaces: 1 | Number of Valid Surfaces: 1 | Number of Valid Surfaces: 1 |
| | Number of Invalid Surfaces: 0 | Number of Invalid Surfaces: 0 | Number of Invalid Surfaces: 0 |
| Method: bishop simplified | | | |
| Number of Valid Surfaces: 1112 | | | |
| Number of Invalid Surfaces: 3888 | | | |

| |
|--|
| Error Codes: |
| <ul style="list-style-type: none"> ○ Error Code -103 reported for 20 surfaces ○ Error Code -114 reported for 3868 surfaces |

Probabilistic Analysis Results (Global Minimum)

| PRÉ DIMENSIONAMENTO - Global | PRÉ DIMENSIONAMENTO - Local 0,3H | PRÉ DIMENSIONAMENTO - Local 0,4H | PRÉ DIMENSIONAMENTO - Local Cunha |
|---|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Method: ordinary/fellenius • Factor of Safety, mean: 3.061856 • Factor of Safety, standard deviation: 1.180161 • Factor of Safety, minimum: 0.309404 • Factor of Safety, maximum: 8.728770 • Probability of Failure: 1.440% (= 72 failed surfaces / 5000 valid surfaces) • Reliability index: 1.74710 (assuming normal distribution) • Reliability index: 2.82064 (assuming lognormal distribution) <ul style="list-style-type: none"> • * best fit = Gamma • Method: bishop simplified • Factor of Safety, mean: 3.272691 • Factor of Safety, standard deviation: 1.304568 | <ul style="list-style-type: none"> • Method: ordinary/fellenius • Factor of Safety, mean: 3.239504 • Factor of Safety, standard deviation: 0.944142 • Factor of Safety, minimum: 1.117080 • Factor of Safety, maximum: 7.119000 • Probability of Failure: 0.000% (= 0 failed surfaces / 5000 valid surfaces) • Reliability index: 2.37200 (assuming normal distribution) • Reliability index: 3.97390 (assuming lognormal distribution) * best fit = Lognormal <ul style="list-style-type: none"> • Method: bishop simplified • Factor of Safety, mean: 3.008874 • Factor of Safety, standard deviation: 0.980137 • Factor of Safety, minimum: 0.676293 • Factor of Safety, maximum: 6.813620 • Probability of Failure: 0.373% (= 18 failed surfaces / 4828 valid surfaces), 172 invalid surfaces | <ul style="list-style-type: none"> • Method: ordinary/fellenius • Factor of Safety, mean: 3.631962 • Factor of Safety, standard deviation: 1.181149 • Factor of Safety, minimum: 1.243340 • Factor of Safety, maximum: 8.856820 • Probability of Failure: 0.000% (= 0 failed surfaces / 5000 valid surfaces) • Reliability index: 2.22831 (assuming normal distribution) • Reliability index: 3.90924 (assuming lognormal distribution) * best fit = Lognormal <ul style="list-style-type: none"> • Method: bishop simplified • Factor of Safety, mean: 3.392681 • Factor of Safety, standard deviation: 1.227987 • Factor of Safety, minimum: 0.568057 | <ul style="list-style-type: none"> • Method: ordinary/fellenius • Factor of Safety, mean: 5.114646 • Factor of Safety, standard deviation: 2.471183 • Factor of Safety, minimum: 1.192610 • Factor of Safety, maximum: 21.538400 • Probability of Failure: 0.000% (= 0 failed surfaces / 5000 valid surfaces) • Reliability index: 1.66505 (assuming normal distribution) • Reliability index: 3.33415 (assuming lognormal distribution) * best fit = Lognormal <ul style="list-style-type: none"> • Method: bishop simplified • Factor of Safety, mean: 4.838254 • Factor of Safety, standard deviation: 2.203905 • Factor of Safety, minimum: 0.836668 • Factor of Safety, maximum: 17.416500 |

- Factor of Safety, minimum: 0.312606
- Factor of Safety, maximum: 9.537280
- Probability of Failure: 1.240% (= 62 failed surfaces / 5000 valid surfaces)
- Reliability index: 1.74210 (assuming normal distribution)
- Reliability index: 2.89536 (assuming lognormal distribution)
 - * best fit = Gamma
- Reliability index: 2.04959 (assuming normal distribution)
- Reliability index: 3.30994 (assuming lognormal distribution)
 - * best fit = Gamma
- Factor of Safety, maximum: 8.501420
- Probability of Failure: 0.380% (= 19 failed surfaces / 5000 valid surfaces)
 - Reliability index: 1.94846 (assuming normal distribution)
 - Reliability index: 3.30625 (assuming lognormal distribution)
 - * best fit = Gamma
- Probability of Failure: 0.120% (= 6 failed surfaces / 4996 valid surfaces), 4 invalid surfaces
 - Reliability index: 1.74157 (assuming normal distribution)
 - Reliability index: 3.41365 (assuming lognormal distribution) * best fit = Lognormal

Entity Information

Group: PRÉ DIMENSIONAMENTO

Shared Entities

| Type | Coordinates | |
|-------------------|-------------|-----|
| | X | Y |
| External Boundary | 20 | 0 |
| | 20 | 5 |
| | 10 | 5 |
| | 10 | 5.8 |
| | 10 | 7 |
| | 10 | 8.2 |
| | 10 | 9.4 |
| | 10 | 10 |
| | 9.85 | 10 |
| | 0 | 10 |
| Material Boundary | 0 | 0 |
| | 9.85 | 10 |
| | 9.85 | 5 |
| | 10 | 5 |

Scenario-based Entities

| Type | Coordinates | Global | Local 0,3H | Local 0,4H | Local Cunha |
|------------------------------|-------------|--------|------------|------------|-------------|
| Non-Circular Failure Surface | X Y | X | ✓ | X | X |
| | 8.5 10 | | | | |
| | 9 6.25 | | | | |
| Non-Circular Failure Surface | X Y | X | X | ✓ | X |
| | 8 10 | | | | |
| | 9 6.25 | | | | |
| Non-Circular Failure Surface | X Y | X | X | X | ✓ |
| | 6.744 10 | | | | |
| | 10 5 | | | | |

APÊNDICE G – Quantitativo e custo dos materiais

Slide Analysis Information

TCC - 0,8 CTE

Project Summary

File Name: TCC - 0,8 CTE.slm
Slide Modeler Version: 8.009

Currently Open Scenarios

| Group Name | Scenario Name | Global Minimum | Compute Time |
|---|---------------|---|-----------------|
| L/H 0,8 - Comprimento grampos constante | Global | Ordinary/fellenius: 1.714990 Bishop Simplified: 1.883750 | 00h:00m:03.264s |
| | Local 0,3H | Ordinary/fellenius: 3.014410 Bishop Simplified: 2.746740 | 00h:00m:01.436s |
| | Local 0,4H | Ordinary/fellenius: 3.071690 Bishop Simplified: 2.902820 | 00h:00m:01.506s |
| | Local Cunha | Ordinary/fellenius: 3.097540 Bishop Simplified: 3.221760 | 00h:00m:01.704s |

General Settings

Units of Measurement: Metric Units
Time Units: days
Permeability Units: meters/second
Data Output: Standard
Failure Direction: Left to Right

Analysis Options

| All Open Scenarios | |
|---|---|
| Slices Type: | Vertical |
| Analysis Methods Used | |
| | Bishop simplified Ordinary/Fellenius |
| Number of slices: | 50 |
| Tolerance: | 0.005 |
| Maximum number of iterations: | 75 |
| Check malpha < 0.2: | Yes |
| Create Interslice boundaries at intersections with water tables and piezos: | Yes |
| Initial trial value of FS: | 1 |
| Steffensen Iteration: | Yes |

Groundwater Analysis

| All Open Scenarios | |
|---------------------------------------|----------------|
| Groundwater Method: | Water Surfaces |
| Pore Fluid Unit Weight [kN/m3]: | 9.81 |
| Use negative pore pressure cutoff: | Yes |
| Maximum negative pore pressure [kPa]: | 0 |
| Advanced Groundwater Method: | None |

Random Numbers

| All Open Scenarios | |
|----------------------------------|---------------------|
| Pseudo-random Seed: | 10116 |
| Random Number Generation Method: | Park and Miller v.3 |

Surface Options

| L/H 0,8 - Comprimento grampos constante - Local 0,3H | | All other Scenarios | |
|--|---------------------------|---------------------|------------------|
| Surface Type: | Non-Circular Block Search | Surface Type: | Circular |
| Number of Surfaces: | 5000 | Search Method: | Slope Search |
| Multiple Groups: | Disabled | Number of Surfaces: | 5000 |
| Pseudo-Random Surfaces: | Enabled | Upper Angle [°]: | Not Defined |
| Convex Surfaces Only: | Disabled | Lower Angle [°]: | Not Defined |
| Left Projection Angle (Start Angle) [°]: | 135 | Composite Surfaces: | Disabled |
| Left Projection Angle (End Angle) [°]: | 135 | Reverse Curvature: | Invalid Surfaces |
| Right Projection Angle (Start Angle) [°]: | 45 | Minimum Elevation: | Not Defined |
| Right Projection Angle (End Angle) [°]: | 45 | Minimum Depth: | Not Defined |
| Minimum Elevation: | Not Defined | Minimum Area: | Not Defined |
| Minimum Depth: | Not Defined | Minimum Weight: | Not Defined |
| Minimum Area: | Not Defined | | |
| Minimum Weight: | Not Defined | | |

Seismic Loading

| All Open Scenarios | |
|-------------------------------|----|
| Advanced seismic analysis: | No |
| Staged pseudostatic analysis: | No |

Loading

| All Open Scenarios | |
|---|--------------------|
| <input type="checkbox"/> 1 Distributed Load present | |
| Distributed Load 1 | |
| Distribution: | Constant |
| Magnitude [kPa]: | 20 |
| Orientation: | Normal to boundary |

Materials

| Property | ARGILA ARENOSA | AREIA ARGILOSA | SILTE ARENO ARGILOSO | SILTE ARGILOSO | CONCRETO PROJETADO |
|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Strength Type | Mohr-Coulomb | Mohr-Coulomb | Mohr-Coulomb | Mohr-Coulomb | Mohr-Coulomb |
| Unit Weight [kN/m ³] | 16 | 18 | 18 | 19 | 25 |
| Cohesion [kPa] | 15 | 5 | 15 | 20 | 300 |
| Friction Angle [°] | 22.7 | 25 | 26.8 | 31.1 | 50 |
| Water Surface | Assigned per scenario | Assigned per scenario | Assigned per scenario | Assigned per scenario | Assigned per scenario |
| Ru Value | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Materials In Use

| Material | Global | Local 0,3H | Local 0,4H | Local Cunha |
|----------------------|--------|------------|------------|-------------|
| ARGILA ARENOSA | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| AREIA ARGILOSA | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| SILTE ARENO ARGILOSO | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| SILTE ARGILOSO | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| CONCRETO PROJETADO | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

Support

GRAMPO D100mm

- Support Type: Soil Nail
- Force Application: Active
- Force Orientation: Parallel to Reinforcement
- Out-of-Plane Spacing: 1.2 m
- Tensile Capacity: 136.6 kN
- Plate Capacity: 100 kN
- Bond Strength: 29.4 kN/m

Slice Data

Disponível em arquivo digital – contatar: adileisson_gondim@hotmail.com

Interslice Data

Disponível em arquivo digital – contatar: adileisson_gondim@hotmail.com

Probabilistic/Sensitivity Input Data

| L/H 0,8 - Comprimento grampos constante - Local 0,3H | | | | | | | All other Scenarios | | | | | | |
|--|-------------|--------------|----------------|-------|-------|--------------------|-------------------------------|-------------|--------------|----------------|-------|-------|--------------------|
| General Settings | | | | | | | General Settings | | | | | | |
| Sensitivity Analysis: | | | Off | | | | Sensitivity Analysis: | | | Off | | | |
| Probabilistic Analysis: | | | On | | | | Probabilistic Analysis: | | | On | | | |
| Spatial Variability Analysis: | | | Off | | | | Spatial Variability Analysis: | | | Off | | | |
| Sampling Method: | | | Monte-Carlo | | | | Sampling Method: | | | Monte-Carlo | | | |
| Number of Samples: | | | 5000 | | | | Number of Samples: | | | 5000 | | | |
| Analysis Type: | | | Global Minimum | | | | Analysis Type: | | | Global Minimum | | | |
| Variables | | | | | | | Variables | | | | | | |
| Material | Property | Distribution | Mean | Min | Max | Standard Deviation | Material | Property | Distribution | Mean | Min | Max | Standard Deviation |
| ARGILA ARENOSA | Cohesion | Normal | 15 | 3 | 27 | 6 | ARGILA ARENOSA | Cohesion | Normal | 15 | 3 | 27 | 6 |
| ARGILA ARENOSA | Phi | Normal | 22.7 | 0 | 45.4 | 11.35 | ARGILA ARENOSA | Phi | Normal | 22.7 | 0 | 45.4 | 11.35 |
| ARGILA ARENOSA | Unit Weight | Normal | 16 | 13.76 | 18.24 | 1.12 | ARGILA ARENOSA | Unit Weight | Normal | 16 | 13.76 | 18.24 | 1.12 |
| AREIA ARGILOSA | Cohesion | Normal | 5 | 1 | 9 | 2 | AREIA ARGILOSA | Cohesion | Normal | 5 | 1 | 9 | 2 |
| AREIA ARGILOSA | Phi | Normal | 25 | 20 | 30 | 2.5 | AREIA ARGILOSA | Phi | Normal | 25 | 20 | 30 | 2.5 |
| AREIA ARGILOSA | Unit Weight | Normal | 18 | 15.48 | 20.52 | 1.26 | AREIA ARGILOSA | Unit Weight | Normal | 18 | 15.48 | 20.52 | 1.26 |
| SILTE ARENO ARGILOSO | Cohesion | Normal | 15 | 3 | 27 | 6 | SILTE ARENO ARGILOSO | Cohesion | Normal | 15 | 3 | 27 | 6 |
| SILTE ARENO ARGILOSO | Phi | Normal | 26.8 | 21.44 | 32.16 | 2.68 | SILTE ARENO ARGILOSO | Phi | Normal | 26.8 | 21.44 | 32.16 | 2.68 |
| SILTE ARENO ARGILOSO | Unit Weight | Normal | 18 | 15.48 | 20.52 | 1.26 | SILTE ARENO ARGILOSO | Unit Weight | Normal | 18 | 15.48 | 20.52 | 1.26 |
| SILTE ARGILOSO | Cohesion | Normal | 20 | 4 | 36 | 8 | SILTE ARGILOSO | Cohesion | Normal | 20 | 4 | 36 | 8 |
| SILTE ARGILOSO | Phi | Normal | 31.1 | 0 | 62.2 | 15.55 | SILTE ARGILOSO | Phi | Normal | 31.1 | 0 | 62.2 | 15.55 |
| SILTE ARGILOSO | Unit Weight | Normal | 19 | 16.34 | 21.66 | 1.33 | SILTE ARGILOSO | Unit Weight | Normal | 19 | 16.34 | 21.66 | 1.33 |

| Support | Property | Distribution | Mean | Min | Max | Standard Deviation |
|---------------|---------------|--------------|------|------|-------|--------------------|
| GRAMPO D100mm | Bond Strength | Normal | 29.4 | 5.88 | 52.92 | 11.76 |

Global Minimums

| L/H 0,8 - Comprimento grampos constante - Global | | L/H 0,8 - Comprimento grampos constante - Local 0,3H | | L/H 0,8 - Comprimento grampos constante - Local 0,4H | | L/H 0,8 - Comprimento grampos constante - Local Cunha | |
|--|-----------------|--|-----------------|--|-----------------|---|-----------------|
| Method: ordinary/fellenius | | Method: ordinary/fellenius | | Method: ordinary/fellenius | | Method: ordinary/fellenius | |
| FS | 1.714990 | FS | 3.014410 | FS | 3.071690 | FS | 3.097540 |
| Center: | 10.541, 10.882 | Axis Location: | 14.250, 9.000 | Axis Location: | 14.000, 9.500 | Axis Location: | 13.372, 10.756 |
| Radius: | 6.615 | Left Slip Surface Endpoint: | 8.500, 10.000 | Left Slip Surface Endpoint: | 8.000, 10.000 | Left Slip Surface Endpoint: | 6.744, 10.000 |
| Left Slip Surface Endpoint: | 3.985, 10.000 | Right Slip Surface Endpoint: | 10.000, 5.000 | Right Slip Surface Endpoint: | 10.000, 5.000 | Right Slip Surface Endpoint: | 10.000, 5.000 |
| Right Slip Surface Endpoint: | 13.568, 5.000 | Left Slope Intercept: | 8.500 10.000 | Left Slope Intercept: | 8.000 10.000 | Left Slope Intercept: | 6.744 10.000 |
| Resisting Moment: | 2658.7 kN-m | Right Slope Intercept: | 10.000 10.000 | Right Slope Intercept: | 10.000 10.000 | Right Slope Intercept: | 10.000 10.000 |
| Driving Moment: | 1550.27 kN-m | Resisting Moment: | 1623.5 kN-m | Resisting Moment: | 1651.26 kN-m | Resisting Moment: | 1801.65 kN-m |
| Active Support Moment: | -146.562 kN-m | Driving Moment: | 538.579 kN-m | Driving Moment: | 537.575 kN-m | Driving Moment: | 581.639 kN-m |
| Total Slice Area: | 27.3154 m2 | Active Support Moment: | -111.669 kN-m | Active Support Moment: | -273.424 kN-m | Active Support Moment: | -632.471 kN-m |
| Surface Horizontal Width: | 9.5825 m | Total Slice Area: | 5.3125 m2 | Total Slice Area: | 6.25 m2 | Total Slice Area: | 8.14 m2 |
| Surface Average Height: | 2.85055 m | Surface Horizontal Width: | 1.5 m | Surface Horizontal Width: | 2 m | Surface Horizontal Width: | 3.256 m |
| | | Surface Average Height: | 3.54167 m | Surface Average Height: | 3.125 m | Surface Average Height: | 2.5 m |
| Method: bishop simplified | | Method: bishop simplified | | Method: bishop simplified | | Method: bishop simplified | |
| FS | 1.883750 | FS | 2.746740 | FS | 2.902820 | FS | 3.221760 |
| | | Axis Location: | 14.250, 9.000 | Axis Location: | 14.000, 9.500 | | |

| | | | | | | | |
|------------------------------|----------------|------------------------------|---------------|------------------------------|---------------|------------------------------|----------------|
| Center: | 10.824, 11.712 | Left Slip Surface Endpoint: | 8.500, 10.000 | Left Slip Surface Endpoint: | 8.000, 10.000 | Axis Location: | 13.372, 10.756 |
| Radius: | 7.457 | Right Slip Surface Endpoint: | 10.000, 5.000 | Right Slip Surface Endpoint: | 10.000, 5.000 | Left Slip Surface Endpoint: | 6.744, 10.000 |
| Left Slip Surface Endpoint: | 3.566, 10.000 | Left Slope Intercept: | 8.500 10.000 | Left Slope Intercept: | 8.000 10.000 | Right Slip Surface Endpoint: | 10.000, 5.000 |
| Right Slip Surface Endpoint: | 14.072, 5.000 | Right Slope Intercept: | 10.000 10.000 | Right Slope Intercept: | 10.000 10.000 | Left Slope Intercept: | 6.744 10.000 |
| Resisting Moment: | 3456.77 kN-m | Resisting Moment: | 1580.69 kN-m | Resisting Moment: | 1615.39 kN-m | Right Slope Intercept: | 10.000 10.000 |
| Driving Moment: | 1835.04 kN-m | Driving Moment: | 575.48 kN-m | Driving Moment: | 556.49 kN-m | Resisting Moment: | 1769.75 kN-m |
| Active Support Moment: | -173.551 kN-m | Active Support Moment: | -111.669 kN-m | Active Support Moment: | -273.424 kN-m | Driving Moment: | 549.312 kN-m |
| Total Slice Area: | 28.5104 m2 | Total Slice Area: | 5.3125 m2 | Total Slice Area: | 6.25 m2 | Active Support Moment: | -632.471 kN-m |
| Surface Horizontal Width: | 10.5056 m | Surface Horizontal Width: | 1.5 m | Surface Horizontal Width: | 2 m | Total Slice Area: | 8.14 m2 |
| Surface Average Height: | 2.71384 m | Surface Average Height: | 3.54167 m | Surface Average Height: | 3.125 m | Surface Horizontal Width: | 3.256 m |
| | | | | | | Surface Average Height: | 2.5 m |

Valid/Invalid Surfaces

| L/H 0,8 - Comprimento grampos constante - Global | L/H 0,8 - Comprimento grampos constante - Local 0,3H | L/H 0,8 - Comprimento grampos constante - Local 0,4H | L/H 0,8 - Comprimento grampos constante - Local Cunha |
|--|--|--|---|
| Method: ordinary/fellenius | Method: ordinary/fellenius | Method: ordinary/fellenius | Method: ordinary/fellenius |
| Number of Valid Surfaces: 3614 | Number of Valid Surfaces: 1 | Number of Valid Surfaces: 1 | Number of Valid Surfaces: 1 |
| Number of Invalid Surfaces: 1386 | Number of Invalid Surfaces: 0 | Number of Invalid Surfaces: 0 | Number of Invalid Surfaces: 0 |
| Error Codes: | | | |
| o Error Code -103 reported for 3 surfaces | | | |
| o Error Code -114 reported for 1383 surfaces | | | |
| | Method: bishop simplified | Method: bishop simplified | Method: bishop simplified |
| | Number of Valid Surfaces: 1 | Number of Valid Surfaces: 1 | Number of Valid Surfaces: 1 |
| | Number of Invalid Surfaces: 0 | Number of Invalid Surfaces: 0 | Number of Invalid Surfaces: 0 |
| Method: bishop simplified | | | |
| Number of Valid Surfaces: 3614 | | | |

| |
|--|
| Number of Invalid Surfaces: 1386 |
| Error Codes: |
| o Error Code -103 reported for 3 surfaces |
| o Error Code -114 reported for 1383 surfaces |

Probabilistic Analysis Results (Global Minimum)

| L/H 0,8 - Comprimento grampos constante - Global | L/H 0,8 - Comprimento grampos constante - Local 0,3H | L/H 0,8 - Comprimento grampos constante - Local 0,4H | L/H 0,8 - Comprimento grampos constante - Local Cunha |
|--|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> Method: ordinary/fellenius Factor of Safety, mean: 1.722249 Factor of Safety, standard deviation: 0.192189 Factor of Safety, minimum: 1.155390 <ul style="list-style-type: none"> Factor of Safety, maximum: 2.373360 Probability of Failure: 0.000% (= 0 failed surfaces / 5000 valid surfaces) Reliability index: 3.75802 (assuming normal distribution) Reliability index: 4.83109 (assuming lognormal distribution) <ul style="list-style-type: none"> * best fit = Gamma Method: bishop simplified Factor of Safety, mean: 1.887583 Factor of Safety, standard deviation: 0.211821 Factor of Safety, minimum: 1.267210 Factor of Safety, maximum: 2.576730 Probability of Failure: 0.000% (= 0 failed surfaces / 5000 valid surfaces) | <ul style="list-style-type: none"> Method: ordinary/fellenius Factor of Safety, mean: 2.939907 Factor of Safety, standard deviation: 0.503588 Factor of Safety, minimum: 1.580240 Factor of Safety, maximum: 4.454670 Probability of Failure: 0.000% (= 0 failed surfaces / 5000 valid surfaces) Reliability index: 3.85217 (assuming normal distribution) Reliability index: 6.25624 (assuming lognormal distribution) <ul style="list-style-type: none"> * best fit = Beta Method: bishop simplified Factor of Safety, mean: 2.636263 Factor of Safety, standard deviation: 0.502710 Factor of Safety, minimum: 1.257550 Factor of Safety, maximum: 3.844650 Probability of Failure: 0.000% (= 0 failed surfaces / 4380 valid surfaces), 620 invalid surfaces Reliability index: 3.25488 (assuming normal distribution) Reliability index: 5.03467 (assuming lognormal distribution) <ul style="list-style-type: none"> * best fit = Beta | <ul style="list-style-type: none"> Method: ordinary/fellenius Factor of Safety, mean: 3.055188 Factor of Safety, standard deviation: 0.738694 Factor of Safety, minimum: 1.379750 Factor of Safety, maximum: 5.229300 Probability of Failure: 0.000% (= 0 failed surfaces / 5000 valid surfaces) Reliability index: 2.78219 (assuming normal distribution) Reliability index: 4.56639 (assuming lognormal distribution) <ul style="list-style-type: none"> * best fit = Beta Method: bishop simplified Factor of Safety, mean: 2.863479 Factor of Safety, standard deviation: 0.734380 Factor of Safety, minimum: 1.188790 Factor of Safety, maximum: 4.899340 Probability of Failure: 0.000% (= 0 failed surfaces / 5000 valid surfaces) | <ul style="list-style-type: none"> Method: ordinary/fellenius Factor of Safety, mean: 3.258606 Factor of Safety, standard deviation: 1.182118 Factor of Safety, minimum: 1.204200 Factor of Safety, maximum: 8.126150 Probability of Failure: 0.000% (= 0 failed surfaces / 5000 valid surfaces) Reliability index: 1.91064 (assuming normal distribution) Reliability index: 3.18383 (assuming lognormal distribution) <ul style="list-style-type: none"> * best fit = Beta Method: bishop simplified Factor of Safety, mean: 3.322294 Factor of Safety, standard deviation: 1.205575 Factor of Safety, minimum: 1.111400 Factor of Safety, maximum: 7.700880 Probability of Failure: 0.000% (= 0 failed surfaces / 5000 valid surfaces) |

| L/H 0,8 - Comprimento grampos constante - Global | L/H 0,8 - Comprimento grampos constante - Local 0,3H | L/H 0,8 - Comprimento grampos constante - Local 0,4H | L/H 0,8 - Comprimento grampos constante - Local Cunha |
|---|--|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> Reliability index: 4.19025 (assuming normal distribution) Reliability index: 5.62310 (assuming lognormal distribution) <ul style="list-style-type: none"> * best fit = Gamma | | <ul style="list-style-type: none"> Reliability index: 2.53749 (assuming normal distribution) Reliability index: 4.04209 (assuming lognormal distribution) <ul style="list-style-type: none"> * best fit = Beta | <ul style="list-style-type: none"> Reliability index: 1.92629 (assuming normal distribution) Reliability index: 3.23789 (assuming lognormal distribution) <ul style="list-style-type: none"> * best fit = Beta |

Entity Information

Group: L/H 0,8 - Comprimento grampos constante

Shared Entities

| Type | Coord.s | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|--|-----|---|------|----|------|---|------|---|----|---|----|-----|----|---|----|-----|----|-----|----|----|
| External Boundary | <table border="1"><tr><th>X</th><th>Y</th></tr><tr><td>20</td><td>0</td></tr><tr><td>20</td><td>2</td></tr><tr><td>20</td><td>5</td></tr><tr><td>10</td><td>5</td></tr><tr><td>10</td><td>5.8</td></tr><tr><td>10</td><td>7</td></tr><tr><td>10</td><td>8.2</td></tr><tr><td>10</td><td>9.4</td></tr><tr><td>10</td><td>10</td></tr></table> | X | Y | 20 | 0 | 20 | 2 | 20 | 5 | 10 | 5 | 10 | 5.8 | 10 | 7 | 10 | 8.2 | 10 | 9.4 | 10 | 10 |
| | X | Y | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 20 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 20 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 20 | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 10 | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 10 | 5.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 10 | 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 10 | 8.2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 10 | 9.4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Material Boundary | <table border="1"><tr><th>X</th><th>Y</th></tr><tr><td>9.85</td><td>10</td></tr><tr><td>9.85</td><td>8</td></tr><tr><td>9.85</td><td>5</td></tr><tr><td>10</td><td>5</td></tr></table> | X | Y | 9.85 | 10 | 9.85 | 8 | 9.85 | 5 | 10 | 5 | | | | | | | | | | |
| | X | Y | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 9.85 | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 9.85 | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 9.85 | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Material Boundary | <table border="1"><tr><th>X</th><th>Y</th></tr><tr><td>0</td><td>8</td></tr><tr><td>9.85</td><td>8</td></tr></table> | X | Y | 0 | 8 | 9.85 | 8 | | | | | | | | | | | | | | |
| | X | Y | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9.85 | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| Material Boundary | <table border="1"><tr><th>X</th><th>Y</th></tr><tr><td>0</td><td>5</td></tr><tr><td>9.85</td><td>5</td></tr></table> | X | Y | 0 | 5 | 9.85 | 5 |
|-------------------|--|---|---|---|---|------|---|
| | X | Y | | | | | |
| 0 | 5 | | | | | | |
| 9.85 | 5 | | | | | | |
| Material Boundary | <table border="1"><tr><th>X</th><th>Y</th></tr><tr><td>0</td><td>2</td></tr><tr><td>20</td><td>2</td></tr></table> | X | Y | 0 | 2 | 20 | 2 |
| | X | Y | | | | | |
| 0 | 2 | | | | | | |
| 20 | 2 | | | | | | |

Scenario-based Entities

| Type | Coord.s | Global | Local 0,3H | Local 0,4H | Local Cunha | | | | | | | | |
|------------------------------|---|--------|------------|------------|-------------|------|------|----|----|---|---|---|---|
| Distributed Load | <table border="1"><tr><th>X</th><th>Y</th></tr><tr><td>10</td><td>10</td></tr><tr><td>9.85</td><td>10</td></tr><tr><td>0</td><td>10</td></tr></table> | X | Y | 10 | 10 | 9.85 | 10 | 0 | 10 | Constant Distribution Orientation: Normal to boundary Magnitude: 20 kN/m2 Creates Excess Pore Pressure: No | Constant Distribution Orientation: Normal to boundary Magnitude: 20 kN/m2 Creates Excess Pore Pressure: No | Constant Distribution Orientation: Normal to boundary Magnitude: 20 kN/m2 Creates Excess Pore Pressure: No | Constant Distribution Orientation: Normal to boundary Magnitude: 20 kN/m2 Creates Excess Pore Pressure: No |
| | X | Y | | | | | | | | | | | |
| 10 | 10 | | | | | | | | | | | | |
| 9.85 | 10 | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 10 | | | | | | | | | | | | |
| Non-Circular Failure Surface | <table border="1"><tr><th>X</th><th>Y</th></tr><tr><td>8.5</td><td>10</td></tr><tr><td>9</td><td>6.25</td></tr><tr><td>10</td><td>5</td></tr></table> | X | Y | 8.5 | 10 | 9 | 6.25 | 10 | 5 | x | ✓ | x | x |
| | X | Y | | | | | | | | | | | |
| 8.5 | 10 | | | | | | | | | | | | |
| 9 | 6.25 | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 5 | | | | | | | | | | | | |
| Non-Circular Failure Surface | <table border="1"><tr><th>X</th><th>Y</th></tr><tr><td>8</td><td>10</td></tr><tr><td>9</td><td>6.25</td></tr><tr><td>10</td><td>5</td></tr></table> | X | Y | 8 | 10 | 9 | 6.25 | 10 | 5 | x | x | ✓ | x |
| | X | Y | | | | | | | | | | | |
| 8 | 10 | | | | | | | | | | | | |
| 9 | 6.25 | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 5 | | | | | | | | | | | | |
| Non-Circular Failure Surface | <table border="1"><tr><th>X</th><th>Y</th></tr><tr><td>6.744</td><td>10</td></tr><tr><td>10</td><td>5</td></tr></table> | X | Y | 6.744 | 10 | 10 | 5 | x | x | x | ✓ | | |
| | X | Y | | | | | | | | | | | |
| 6.744 | 10 | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 5 | | | | | | | | | | | | |

ANEXO A – Parâmetros médios do solo

| Tipo de solo | Faixa de STP | Módulo de elasticidade (t/m ²) | Peso específico (g) | | Ângulo atrito efetivo (f) | Coesão efetiva (tf/m ²) |
|--|--------------|--|-----------------------------|------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|
| | | | Natural (t/m ³) | Saturado (t/m ³) | | |
| Areia pouco siltosa / pouco argilosa | 0 - 4 | 2000 - 5000 | 1,7 | 1,8 | 25° | – |
| | 5 - 8 | 4000 - 8000 | 1,8 | 1,9 | 30° | – |
| | 9 - 18 | 5000 - 10000 | 1,9 | 2,0 | 32° | – |
| | 19 - 41 | 8000 - 15000 | 2,0 | 2,1 | 35° | – |
| | ≥ 41 | 16000 - 20000 | 2,0 | 2,1 | 38° | – |
| Areia média e fina muito argilosa | 0 - 4 | 2000 | 1,7 | 1,8 | 25° | 0 |
| | 5 - 8 | 4000 | 1,8 | 1,9 | 28° | 0,5 |
| | 9 - 18 | 5000 | 1,9 | 2,0 | 30° | 0,75 |
| | 19 - 41 | 10000 | 2,0 | 2,1 | 32° | 1,0 |
| Argila porosa vermelha e amarela | 0 - 2 | 200 - 500 | 1,5 | 1,7 | 20° | 0,75 |
| | 3 - 5 | 500 - 1000 | 1,6 | 1,7 | 23° | 1,5 |
| | 6 - 10 | 1000 - 2000 | 1,7 | 1,8 | 25° | 3,0 |
| | ≥ 10 | 2000 - 3000 | 1,8 | 1,9 | 25° | 3,0 a 7,0 |
| Argila siltosa pouco arenosa (terciário) | 0 - 2 | 100 | 1,7 | 1,8 | 20° | 0,75 |
| | 3 - 5 | 100 - 250 | 1,8 | 1,9 | 23° | 1,5 |
| | 6 - 10 | 250 - 500 | 1,9 | 1,9 | 24° | 2,0 |
| | 11 - 19 | 500 - 1000 | 1,9 | 1,9 | 24° | 3,0 |
| | 20 - 30 | 3000 - 10000 | 2,0 | 2,0 | 25° | 4,0 |
| | ≥ 30 | 10000 - 15000 | 2,0 | 2,0 | 25° | 5,0 |
| Argila arenosa pouco siltosa | 0 - 2 | 500 | 1,5 | 1,7 | 15° | 1,0 |
| | 3 - 5 | 500 - 1500 | 1,7 | 1,8 | 15° | 2,0 |
| | 6 - 10 | 1500 - 2000 | 1,8 | 1,9 | 18° | 3,5 |
| | 11 - 19 | 2000 - 3500 | 1,9 | 1,9 | 20° | 5,0 |
| | ≥ 20 | 3500 - 5000 | 2,0 | 2,0 | 25° | 6,5 |
| Turfa / argila orgânica (quaternário) | 0 - 1 | 40 - 100 | 1,1 | 1,1 | 15° | 0,5 |
| | 2 - 5 | 100 - 150 | 1,2 | 1,2 | 15° | 1,0 |
| Silte arenoso pouco argiloso (residual) | 5 - 8 | 8000 | 1,8 | 1,9 | 25° | 1,5 |
| | 9 - 18 | 1000 | 1,9 | 2,0 | 26° | 2,0 |
| | 19 - 41 | 15000 | 2,0 | 2,0 | 27° | 3,0 |
| | ≥ 41 | 20000 | 2,1 | 2,1 | 28° | 5,0 |

Slide Analysis Information

TCC - 0,8 VAR

Project Summary

File Name: TCC - 0,8 VAR.slmd
Slide Modeler Version: 8.009

Currently Open Scenarios

| Group Name | Scenario Name | Global Minimum | Compute Time |
|------------|---------------|---|-----------------|
| L/H 0,8 | Global | Ordinary/fellenius: 1.227010 Bishop Simplified: 1.290840 | 00h:00m:03.198s |
| | Local 0,3H | Ordinary/fellenius: 2.132160 Bishop Simplified: 1.791640 | 00h:00m:01.403s |
| | Local 0,4H | Ordinary/fellenius: 2.095040 Bishop Simplified: 1.804340 | 00h:00m:01.483s |
| | Local Cunha | Ordinary/fellenius: 2.110130 Bishop Simplified: 1.930700 | 00h:00m:01.698s |

General Settings

Units of Measurement: Metric Units
Time Units: days
Permeability Units: meters/second
Data Output: Standard
Failure Direction: Left to Right

Analysis Options

| All Open Scenarios | |
|--|--------------------|
| Slices Type: | Vertical |
| Analysis Methods Used | |
| | Bishop simplified |
| | Ordinary/Fellenius |
| Number of slices: | 50 |
| Tolerance: | 0.005 |
| Maximum number of iterations: | 75 |
| Check malpha < 0.2: | Yes |
| Create Interslice boundaries at intersections with water tables and piezoms: | Yes |
| Initial trial value of FS: | 1 |
| Steffensen Iteration: | Yes |

Groundwater Analysis

| All Open Scenarios | |
|---------------------------------------|----------------|
| Groundwater Method: | Water Surfaces |
| Pore Fluid Unit Weight [kN/m3]: | 9.81 |
| Use negative pore pressure cutoff: | Yes |
| Maximum negative pore pressure [kPa]: | 0 |
| Advanced Groundwater Method: | None |

Random Numbers

| All Open Scenarios | |
|----------------------------------|---------------------|
| Pseudo-random Seed: | 10116 |
| Random Number Generation Method: | Park and Miller v.3 |

Surface Options

| L/H 0,8 - Local 0,3H | | All other Scenarios | |
|---|---------------------------|---------------------|------------------|
| Surface Type: | Non-Circular Block Search | Surface Type: | Circular |
| Number of Surfaces: | 5000 | Search Method: | Slope Search |
| Multiple Groups: | Disabled | Number of Surfaces: | 5000 |
| Pseudo-Random Surfaces: | Enabled | Upper Angle [°]: | Not Defined |
| Convex Surfaces Only: | Disabled | Lower Angle [°]: | Not Defined |
| Left Projection Angle (Start Angle) [°]: | 135 | Composite Surfaces: | Disabled |
| Left Projection Angle (End Angle) [°]: | 135 | Reverse Curvature: | Invalid Surfaces |
| Right Projection Angle (Start Angle) [°]: | 45 | Minimum Elevation: | Not Defined |
| Right Projection Angle (End Angle) [°]: | 45 | Minimum Depth: | Not Defined |
| Minimum Elevation: | Not Defined | Minimum Area: | Not Defined |
| Minimum Depth: | Not Defined | Minimum Weight: | Not Defined |
| Minimum Area: | Not Defined | | |
| Minimum Weight: | Not Defined | | |

Seismic Loading

| All Open Scenarios | |
|-------------------------------|----|
| Advanced seismic analysis: | No |
| Staged pseudostatic analysis: | No |

Loading

| All Open Scenarios | |
|--------------------------|----------------------------|
| <input type="checkbox"/> | 1 Distributed Load present |
| Distributed Load 1 | |
| Distribution: | Constant |
| Magnitude [kPa]: | 20 |
| Orientation: | Normal to boundary |

Materials

| Property | ARGILA ARENOSA | AREIA ARGILOSA | SILTE ARENO ARGILOSO | SILTE ARGILOSO | CONCRETO PROJETADO |
|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Strength Type | Mohr-Coulomb | Mohr-Coulomb | Mohr-Coulomb | Mohr-Coulomb | Mohr-Coulomb |
| Unit Weight [kN/m ³] | 16 | 18 | 18 | 19 | 25 |
| Cohesion [kPa] | 15 | 5 | 15 | 20 | 300 |
| Friction Angle [°] | 22.7 | 25 | 26.8 | 31.1 | 50 |
| Water Surface | Assigned per scenario | Assigned per scenario | Assigned per scenario | Assigned per scenario | Assigned per scenario |
| Ru Value | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Materials In Use

| Material | Global | Local 0,3H | Local 0,4H | Local Cunha |
|----------------------|--------|------------|------------|-------------|
| ARGILA ARENOSA | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| AREIA ARGILOSA | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| SILTE ARENO ARGILOSO | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| SILTE ARGILOSO | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| CONCRETO PROJETADO | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

Support

GRAMPO D100mm

- Support Type: Soil Nail
- Force Application: Active
- Force Orientation: Parallel to Reinforcement
- Out-of-Plane Spacing: 1.2 m
- Tensile Capacity: 136.6 kN
- Plate Capacity: 100 kN
- Bond Strength: 29.4 kN/m

Slice Data

Disponível em arquivo digital – contatar: adileisson_gondim@hotmail.com

Interslice Data

Disponível em arquivo digital – contatar: adileisson_gondim@hotmail.com

Probabilistic/Sensitivity Input Data

| L/H 0,8 - Local 0,3H | | | | | | | All other Scenarios | | | | | | |
|-------------------------------|-------------|--------------|----------------|-------|-------|--------------------|-------------------------------|-------------|--------------|----------------|-------|-------|--------------------|
| General Settings | | | | | | | General Settings | | | | | | |
| Sensitivity Analysis: | | | Off | | | | Sensitivity Analysis: | | | Off | | | |
| Probabilistic Analysis: | | | On | | | | Probabilistic Analysis: | | | On | | | |
| Spatial Variability Analysis: | | | Off | | | | Spatial Variability Analysis: | | | Off | | | |
| Sampling Method: | | | Monte-Carlo | | | | Sampling Method: | | | Monte-Carlo | | | |
| Number of Samples: | | | 5000 | | | | Number of Samples: | | | 5000 | | | |
| Analysis Type: | | | Global Minimum | | | | Analysis Type: | | | Global Minimum | | | |
| Variables | | | | | | | Variables | | | | | | |
| Material | Property | Distribution | Mean | Min | Max | Standard Deviation | Material | Property | Distribution | Mean | Min | Max | Standard Deviation |
| ARGILA ARENOSA | Cohesion | Normal | 15 | 3 | 27 | 6 | ARGILA ARENOSA | Cohesion | Normal | 15 | 3 | 27 | 6 |
| ARGILA ARENOSA | Phi | Normal | 22.7 | 0 | 45.4 | 11.35 | ARGILA ARENOSA | Phi | Normal | 22.7 | 0 | 45.4 | 11.35 |
| ARGILA ARENOSA | Unit Weight | Normal | 16 | 13.76 | 18.24 | 1.12 | ARGILA ARENOSA | Unit Weight | Normal | 16 | 13.76 | 18.24 | 1.12 |
| AREIA ARGILOSA | Cohesion | Normal | 5 | 1 | 9 | 2 | AREIA ARGILOSA | Cohesion | Normal | 5 | 1 | 9 | 2 |
| AREIA ARGILOSA | Phi | Normal | 25 | 20 | 30 | 2.5 | AREIA ARGILOSA | Phi | Normal | 25 | 20 | 30 | 2.5 |
| AREIA ARGILOSA | Unit Weight | Normal | 18 | 15.48 | 20.52 | 1.26 | AREIA ARGILOSA | Unit Weight | Normal | 18 | 15.48 | 20.52 | 1.26 |
| SILTE ARENO ARGILOSO | Cohesion | Normal | 15 | 3 | 27 | 6 | SILTE ARENO ARGILOSO | Cohesion | Normal | 15 | 3 | 27 | 6 |
| SILTE ARENO ARGILOSO | Phi | Normal | 26.8 | 21.44 | 32.16 | 2.68 | SILTE ARENO ARGILOSO | Phi | Normal | 26.8 | 21.44 | 32.16 | 2.68 |
| SILTE ARENO ARGILOSO | Unit Weight | Normal | 18 | 15.48 | 20.52 | 1.26 | SILTE ARENO ARGILOSO | Unit Weight | Normal | 18 | 15.48 | 20.52 | 1.26 |
| SILTE ARGILOSO | Cohesion | Normal | 20 | 4 | 36 | 8 | SILTE ARGILOSO | Cohesion | Normal | 20 | 4 | 36 | 8 |
| SILTE ARGILOSO | Phi | Normal | 31.1 | 0 | 62.2 | 15.55 | SILTE ARGILOSO | Phi | Normal | 31.1 | 0 | 62.2 | 15.55 |
| SILTE ARGILOSO | Unit Weight | Normal | 19 | 16.34 | 21.66 | 1.33 | SILTE ARGILOSO | Unit Weight | Normal | 19 | 16.34 | 21.66 | 1.33 |

| Support | Property | Distribution | Mean | Min | Max | Standard Deviation | Support | Property | Distribution | Mean | Min | Max | Standard Deviation |
|---------------|---------------|--------------|------|------|-------|--------------------|---------------|---------------|--------------|------|------|-------|--------------------|
| GRAMPO D100mm | Bond Strength | Normal | 29.4 | 5.88 | 52.92 | 11.76 | GRAMPO D100mm | Bond Strength | Normal | 29.4 | 5.88 | 52.92 | 11.76 |

Global Minimums

| L/H 0,8 - Global | | L/H 0,8 - Local 0,3H | | L/H 0,8 - Local 0,4H | | L/H 0,8 - Local Cunha | |
|------------------------------|----------------|------------------------------|---------------|------------------------------|---------------|------------------------------|----------------|
| Method: ordinary/fellenius | | Method: ordinary/fellenius | | Method: ordinary/fellenius | | Method: ordinary/fellenius | |
| FS | 1.227010 | FS | 2.132160 | FS | 2.095040 | FS | 2.110130 |
| Center: | 10.739, 10.181 | Axis Location: | 14.250, 9.000 | Axis Location: | 14.000, 9.500 | Axis Location: | 13.372, 10.756 |
| Radius: | 5.273 | Left Slip Surface Endpoint: | 8.500, 10.000 | Left Slip Surface Endpoint: | 8.000, 10.000 | Left Slip Surface Endpoint: | 6.744, 10.000 |
| Left Slip Surface Endpoint: | 5.469, 10.000 | Right Slip Surface Endpoint: | 10.000, 5.000 | Right Slip Surface Endpoint: | 10.000, 5.000 | Right Slip Surface Endpoint: | 10.000, 5.000 |
| Right Slip Surface Endpoint: | 11.719, 5.000 | Left Slope Intercept: | 8.500 10.000 | Left Slope Intercept: | 8.000 10.000 | Left Slope Intercept: | 6.744 10.000 |
| Resisting Moment: | 1248.65 kN-m | Right Slope Intercept: | 10.000 10.000 | Right Slope Intercept: | 10.000 10.000 | Right Slope Intercept: | 10.000 10.000 |
| Driving Moment: | 1017.64 kN-m | Resisting Moment: | 1401.71 kN-m | Driving Moment: | 679.942 kN-m | Resisting Moment: | 1568.36 kN-m |
| Active Support Moment: | -16.2211 kN-m | Driving Moment: | 657.412 kN-m | Active Support Moment: | -83.5648 kN-m | Driving Moment: | 743.254 kN-m |
| Total Slice Area: | 17.2278 m2 | Active Support Moment: | 29.8869 kN-m | Total Slice Area: | 6.25 m2 | Active Support Moment: | -321.273 kN-m |
| Surface Horizontal Width: | 6.24954 m | Total Slice Area: | 5.3125 m2 | Surface Horizontal Width: | 2 m | Total Slice Area: | 8.14 m2 |
| Surface Average Height: | 2.75664 m | Surface Horizontal Width: | 1.5 m | Surface Average Height: | 3.125 m | Surface Horizontal Width: | 3.256 m |
| | | Surface Average Height: | 3.54167 m | | | Surface Average Height: | 2.5 m |

| Method: bishop simplified | | Method: bishop simplified | | Method: bishop simplified | | Method: bishop simplified | |
|------------------------------|-------------------|------------------------------|------------------|------------------------------|---------------|------------------------------|-------------------|
| FS | 1.290840 | FS | 1.791640 | FS | 1.804340 | FS | 1.930700 |
| Center: | 10.739, 10.181 | Axis Location: | 14.250, 9.000 | Axis Location: | 14.000, 9.500 | Axis Location: | 13.372, 10.756 |
| Radius: | 5.273 | Left Slip Surface Endpoint: | 8.500, 10.000 | Left Slip Surface Endpoint: | 8.000, 10.000 | Left Slip Surface Endpoint: | 6.744, 10.000 |
| Left Slip Surface Endpoint: | 5.469, 10.000 | Right Slip Surface Endpoint: | 10.000, 5.000 | Right Slip Surface Endpoint: | 10.000, 5.000 | Right Slip Surface Endpoint: | 10.000, 5.000 |
| Right Slip Surface Endpoint: | 11.719, 5.000 | Left Slope Intercept: | 8.500 10.000 | Left Slope Intercept: | 8.000 10.000 | Left Slope Intercept: | 6.744 10.000 |
| Resisting Moment: | 1313.61 kN-m | Right Slope Intercept: | 10.000 10.000 | Right Slope Intercept: | 10.000 10.000 | Right Slope Intercept: | 10.000 10.000 |
| Driving Moment: | 1017.64 kN-m | Resisting Moment: | 1207.01 kN-m | Driving Moment: | 704.746 kN-m | Resisting Moment: | 1453.36 kN-m |
| Active Support Moment: | -16.2211 kN-m | Driving Moment: | 673.691 kN-m | Active Support Moment: | -83.5648 kN-m | Driving Moment: | 752.764 kN-m |
| Total Slice Area: | 17.2278 m2 | Active Support Moment: | 29.8869 kN-m | Total Slice Area: | 6.25 m2 | Active Support Moment: | -321.273 kN-m |
| Surface Horizontal Width: | 6.24954 m | Total Slice Area: | 5.3125 m2 | Surface Horizontal Width: | 2 m | Total Slice Area: | 8.14 m2 |
| Surface Average Height: | 2.75664 m | Surface Horizontal Width: | 1.5 m | Surface Average Height: | 3.125 m | Surface Horizontal Width: | 3.256 m |
| | | Surface Average Height: | 3.54167 m | | | Surface Average Height: | 2.5 m |

Global Minimum Coordinates

| L/H 0,8 - Global | L/H 0,8 - Local 0,3H | L/H 0,8 - Local 0,4H | L/H 0,8 - Local Cunha | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|----------------------|----------------------------|-----------------------|----------------------------|---|------|----|---|--------|----|--|--|---|---|---|----|---|------|----|---|--------|----|---|---|---|-------|----|----|---|--------|----|
| Method: ordinary/fellenius | | Method: ordinary/fellenius | | Method: ordinary/fellenius | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1"> <thead> <tr><th>X</th><th>Y</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>8,5</td><td>10</td></tr> <tr><td>9</td><td>6,25</td></tr> <tr><td>10</td><td>5</td></tr> <tr><td>10,001</td><td>10</td></tr> </tbody> </table> | X | Y | 8,5 | 10 | 9 | 6,25 | 10 | 5 | 10,001 | 10 | | <table border="1"> <thead> <tr><th>X</th><th>Y</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>8</td><td>10</td></tr> <tr><td>9</td><td>6,25</td></tr> <tr><td>10</td><td>5</td></tr> <tr><td>10,001</td><td>10</td></tr> </tbody> </table> | X | Y | 8 | 10 | 9 | 6,25 | 10 | 5 | 10,001 | 10 | <table border="1"> <thead> <tr><th>X</th><th>Y</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>6,744</td><td>10</td></tr> <tr><td>10</td><td>5</td></tr> <tr><td>10,001</td><td>10</td></tr> </tbody> </table> | X | Y | 6,744 | 10 | 10 | 5 | 10,001 | 10 |
| X | Y | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8,5 | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | 6,25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10,001 | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| X | Y | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | 6,25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10,001 | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| X | Y | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6,744 | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10,001 | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| Method: bishop simplified | | Method: bishop simplified | | Method: bishop simplified | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|------|---------------------------|-----|---------------------------|---|------|----|---|--------|----|--|--|---|---|---|----|---|------|----|---|--------|----|--|---|---|---|-------|----|----|---|--------|----|--|
| <table border="1"> <thead> <tr><th>X</th><th>Y</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>8,5</td><td>10</td></tr> <tr><td>9</td><td>6,25</td></tr> <tr><td>10</td><td>5</td></tr> <tr><td>10,001</td><td>10</td></tr> </tbody> </table> | X | Y | 8,5 | 10 | 9 | 6,25 | 10 | 5 | 10,001 | 10 | | <table border="1"> <thead> <tr><th>X</th><th>Y</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>8</td><td>10</td></tr> <tr><td>9</td><td>6,25</td></tr> <tr><td>10</td><td>5</td></tr> <tr><td>10,001</td><td>10</td></tr> </tbody> </table> | X | Y | 8 | 10 | 9 | 6,25 | 10 | 5 | 10,001 | 10 | | <table border="1"> <thead> <tr><th>X</th><th>Y</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>6,744</td><td>10</td></tr> <tr><td>10</td><td>5</td></tr> <tr><td>10,001</td><td>10</td></tr> </tbody> </table> | X | Y | 6,744 | 10 | 10 | 5 | 10,001 | 10 | |
| X | Y | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8,5 | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | 6,25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10,001 | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| X | Y | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | 6,25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10,001 | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| X | Y | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6,744 | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10,001 | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Valid/Invalid Surfaces

| L/H 0,8 - Global | L/H 0,8 - Local 0,3H | L/H 0,8 - Local 0,4H | L/H 0,8 - Local Cunha |
|---|--|--|--|
| Method: ordinary/fellenius | Method: ordinary/fellenius | Method: ordinary/fellenius | Method: ordinary/fellenius |
| Number of Valid Surfaces: 3614 Number of Invalid Surfaces: 1386 | Number of Valid Surfaces: 1 Number of Invalid Surfaces: 0 | Number of Valid Surfaces: 1 Number of Invalid Surfaces: 0 | Number of Valid Surfaces: 1 Number of Invalid Surfaces: 0 |
| Error Codes: | Method: bishop simplified | Method: bishop simplified | Method: bishop simplified |
| <ul style="list-style-type: none"> ○ Error Code -103 reported for 3 surfaces ○ Error Code -114 reported for 1383 surfaces | Number of Valid Surfaces: 1 Number of Invalid Surfaces: 0 | Number of Valid Surfaces: 1 Number of Invalid Surfaces: 0 | Number of Valid Surfaces: 1 Number of Invalid Surfaces: 0 |
| Method: bishop simplified | | | |
| Number of Valid Surfaces: 3614 Number of Invalid Surfaces: 1386 | | | |
| Error Codes: | | | |
| <ul style="list-style-type: none"> ○ Error Code -103 reported for 3 surfaces ○ Error Code -114 reported for 1383 surfaces | | | |

Probabilistic Analysis Results (Global Minimum)

| L/H 0,8 - Global | L/H 0,8 - Local 0,3H | L/H 0,8 - Local 0,4H | L/H 0,8 - Local Cunha |
|--|--|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> Method: ordinary/fellenius Factor of Safety, mean: 1.231040 Factor of Safety, standard deviation: 0.116142 Factor of Safety, minimum: 0.827059 Factor of Safety, maximum: 1.601730 Probability of Failure: 2.060% (= 103 failed surfaces / 5000 valid surfaces) Reliability index: 1.98929 (assuming normal distribution) * best fit = Normal Reliability index: 2.16101 (assuming lognormal distribution) <ul style="list-style-type: none"> Method: bishop simplified Factor of Safety, mean: 1.293049 Factor of Safety, standard deviation: 0.119581 Factor of Safety, minimum: 0.920131 Factor of Safety, maximum: 1.686480 Probability of Failure: 0.569% (= 27 failed surfaces / 4742 valid surfaces), 258 invalid surfaces Reliability index: 2.45062 (assuming normal distribution) * best fit = Normal Reliability index: 2.73879 (assuming lognormal distribution) | <ul style="list-style-type: none"> Method: ordinary/fellenius Factor of Safety, mean: 2.135691 Factor of Safety, standard deviation: 0.266519 Factor of Safety, minimum: 1.401800 Factor of Safety, maximum: 3.191050 Probability of Failure: 0.000% (= 0 failed surfaces / 5000 valid surfaces) Reliability index: 4.26120 (assuming normal distribution) Reliability index: 6.04181 (assuming lognormal distribution) <ul style="list-style-type: none"> * best fit = Gamma Method: bishop simplified Factor of Safety, mean: 1.784126 Factor of Safety, standard deviation: 0.245199 Factor of Safety, minimum: 1.110410 Factor of Safety, maximum: 2.601420 Probability of Failure: 0.000% (= 0 failed surfaces / 4671 valid surfaces), 329 invalid surfaces Reliability index: 3.19792 (assuming normal distribution) Reliability index: 4.16381 (assuming lognormal distribution) <ul style="list-style-type: none"> * best fit = Beta | <ul style="list-style-type: none"> Method: ordinary/fellenius Factor of Safety, mean: 2.113849 Factor of Safety, standard deviation: 0.361739 Factor of Safety, minimum: 1.237160 Factor of Safety, maximum: 3.436840 Probability of Failure: 0.000% (= 0 failed surfaces / 5000 valid surfaces) Reliability index: 3.07915 (assuming normal distribution) Reliability index: 4.32079 (assuming lognormal distribution) <ul style="list-style-type: none"> * best fit = Gamma Method: bishop simplified Factor of Safety, mean: 1.811839 Factor of Safety, standard deviation: 0.319360 Factor of Safety, minimum: 1.007780 Factor of Safety, maximum: 2.923950 Probability of Failure: 0.000% (= 0 failed surfaces / 5000 valid surfaces) Reliability index: 2.54208 (assuming normal distribution) Reliability index: 3.31041 (assuming lognormal distribution) <ul style="list-style-type: none"> * best fit = Gamma | <ul style="list-style-type: none"> Method: ordinary/fellenius Factor of Safety, mean: 2.187557 Factor of Safety, standard deviation: 0.553338 Factor of Safety, minimum: 1.086290 Factor of Safety, maximum: 4.551390 Probability of Failure: 0.000% (= 0 failed surfaces / 5000 valid surfaces) Reliability index: 2.14617 (assuming normal distribution) Reliability index: 3.01874 (assuming lognormal distribution) <ul style="list-style-type: none"> * best fit = Lognormal Method: bishop simplified Factor of Safety, mean: 1.979850 Factor of Safety, standard deviation: 0.481260 Factor of Safety, minimum: 0.929402 Factor of Safety, maximum: 3.839910 Probability of Failure: 0.040% (= 2 failed surfaces / 5000 valid surfaces) Reliability index: 2.03601 (assuming normal distribution) Reliability index: 2.73089 (assuming lognormal distribution) <ul style="list-style-type: none"> * best fit = Lognormal |

Entity Information

Group: L/H 0,8

Shared Entities

| Type | Coordinates | |
|-------------------|-------------|-----|
| | X | Y |
| External Boundary | 20 | 0 |
| | 20 | 2 |
| | 20 | 5 |
| | 10 | 5 |
| | 10 | 5.8 |
| | 10 | 7 |
| | 10 | 8.2 |
| | 10 | 9.4 |
| | 10 | 10 |
| | 9.85 | 10 |
| | 0 | 10 |
| | 0 | 8 |
| | 0 | 5 |
| Material Boundary | 0 | 2 |
| | 0 | 0 |
| | 9.85 | 0 |
| | 10 | 0 |
| | 0 | 8 |
| Material Boundary | 9.85 | 10 |
| | 9.85 | 8 |
| | 9.85 | 5 |
| | 10 | 5 |
| Material Boundary | 0 | 8 |

| | | |
|-------------------|------|---|
| Material Boundary | 9.85 | 8 |
| | 0 | 5 |
| | 9.85 | 5 |
| Material Boundary | 0 | 2 |
| | 20 | 2 |

Scenario-based Entities

| Type | Coordinates | Global | Local 0,3H | Local 0,4H | Local Cunha |
|------------------------------|-------------------------|--|--|--|--|
| Distributed Load | X Y 10 10 | Constant Distribution Orientation: Normal to boundary Magnitude: 20 kN/m2 Creates Excess Pore Pressure: No | Constant Distribution Orientation: Normal to boundary Magnitude: 20 kN/m2 Creates Excess Pore Pressure: No | Constant Distribution Orientation: Normal to boundary Magnitude: 20 kN/m2 Creates Excess Pore Pressure: No | Constant Distribution Orientation: Normal to boundary Magnitude: 20 kN/m2 Creates Excess Pore Pressure: No |
| | X Y 9.85 10 0 10 | | | | |
| Non-Circular Failure Surface | X Y 8.5 10 | x | ✓ | x | x |
| | 9 6.25 | | | | |
| | 10 5 | | | | |
| Non-Circular Failure Surface | X Y 8 10 | x | x | ✓ | x |
| | 9 6.25 | | | | |
| | 10 5 | | | | |
| Non-Circular Failure Surface | X Y 6.744 10 10 5 | x | x | x | ✓ |

APÊNDICE E – Relatório da análise de estabilidade da escavação – $L/H = 1,2$, comprimento dos grampos variável

Slide Analysis Information

TCC - 1,2 VAR

Project Summary

File Name: TCC - 1,2 VAR.slm
Slide Modeler Version: 8.009

Currently Open Scenarios

| Group Name | Scenario Name | Global Minimum | Compute Time |
|------------|---------------|---|-----------------|
| L/H 1,2 | Global | Ordinary/fellenius: 1.602860 Bishop Simplified: 1.695880 | 00h:00m:03.97s |
| | Local 0,3H | Ordinary/fellenius: 2.521290 Bishop Simplified: 2.230690 | 00h:00m:01.397s |
| | Local 0,4H | Ordinary/fellenius: 2.870870 Bishop Simplified: 2.528350 | 00h:00m:01.501s |
| | Local Cunha | Ordinary/fellenius: 4.236240 Bishop Simplified: 3.520200 | 00h:00m:01.722s |

General Settings

Units of Measurement: Metric Units
Time Units: days
Permeability Units: meters/second
Data Output: Standard
Failure Direction: Left to Right

Analysis Options

| All Open Scenarios | |
|---|---|
| Slices Type: | Vertical |
| Analysis Methods Used | |
| | Bishop simplified Ordinary/Fellenius |
| Number of slices: | 50 |
| Tolerance: | 0.005 |
| Maximum number of iterations: | 75 |
| Check malpha < 0.2: | Yes |
| Create Interslice boundaries at intersections with water tables and piezos: | Yes |
| Initial trial value of FS: | 1 |
| Steffensen Iteration: | Yes |

Groundwater Analysis

| All Open Scenarios | |
|--|----------------|
| Groundwater Method: | Water Surfaces |
| Pore Fluid Unit Weight [kN/m ³]: | 9.81 |
| Use negative pore pressure cutoff: | Yes |
| Maximum negative pore pressure [kPa]: | 0 |
| Advanced Groundwater Method: | None |

Random Numbers

| All Open Scenarios | |
|----------------------------------|---------------------|
| Pseudo-random Seed: | 10116 |
| Random Number Generation Method: | Park and Miller v.3 |

Surface Options

| L/H 1,2 - Local 0,3H | | All other Scenarios | |
|---|---------------------------|---------------------|------------------|
| Surface Type: | Non-Circular Block Search | Surface Type: | Circular |
| Number of Surfaces: | 5000 | Search Method: | Slope Search |
| Multiple Groups: | Disabled | Number of Surfaces: | 5000 |
| Pseudo-Random Surfaces: | Enabled | Upper Angle [°]: | Not Defined |
| Convex Surfaces Only: | Disabled | Lower Angle [°]: | Not Defined |
| Left Projection Angle (Start Angle) [°]: | 135 | Composite Surfaces: | Disabled |
| Left Projection Angle (End Angle) [°]: | 135 | Reverse Curvature: | Invalid Surfaces |
| Right Projection Angle (Start Angle) [°]: | 45 | Minimum Elevation: | Not Defined |
| Right Projection Angle (End Angle) [°]: | 45 | Minimum Depth: | Not Defined |
| Minimum Elevation: | Not Defined | Minimum Area: | Not Defined |
| Minimum Depth: | Not Defined | Minimum Weight: | Not Defined |
| Minimum Area: | Not Defined | | |
| Minimum Weight: | Not Defined | | |

Seismic Loading

| All Open Scenarios | |
|-------------------------------|----|
| Advanced seismic analysis: | No |
| Staged pseudostatic analysis: | No |

Loading

| All Open Scenarios | |
|---|--------------------|
| <input type="checkbox"/> 1 Distributed Load present | |
| Distributed Load 1 | |
| Distribution: | Constant |
| Magnitude [kPa]: | 20 |
| Orientation: | Normal to boundary |

Materials

| Property | ARGILA ARENOSA | AREIA ARGILOSA | SILTE ARENO ARGILOSO | SILTE ARGILOSO | CONCRETO PROJETADO |
|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Color | | | | | |
| Strength Type | Mohr-Coulomb | Mohr-Coulomb | Mohr-Coulomb | Mohr-Coulomb | Mohr-Coulomb |
| Unit Weight [kN/m ³] | 16 | 18 | 18 | 19 | 25 |
| Cohesion [kPa] | 15 | 5 | 15 | 20 | 300 |
| Friction Angle [°] | 22.7 | 25 | 26.8 | 31.1 | 50 |
| Water Surface | Assigned per scenario | Assigned per scenario | Assigned per scenario | Assigned per scenario | Assigned per scenario |
| Ru Value | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Materials In Use

| Material | Global | Local 0,3H | Local 0,4H | Local Cunha |
|----------------------|--------|------------|------------|-------------|
| ARGILA ARENOSA | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| AREIA ARGILOSA | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| SILTE ARENO ARGILOSO | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| SILTE ARGILOSO | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| CONCRETO PROJETADO | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

Support

GRAMPO D100mm

- Support Type: Soil Nail
- Force Application: Active
- Force Orientation: Parallel to Reinforcement
- Out-of-Plane Spacing: 1.2 m
- Tensile Capacity: 136.6 kN
- Plate Capacity: 100 kN
- Bond Strength: 29.4 kN/m

Slice Data

Disponível em arquivo digital – contatar: adileisson_gondim@hotmail.com

Interslice Data

Disponível em arquivo digital – contatar: adileisson_gondim@hotmail.com

Probabilistic/Sensitivity Input Data

| L/H 1,2 - Local 0,3H | | | | | | | All other Scenarios | | | | | | |
|-------------------------------|-------------|--------------|----------------|-------|-------|--------------------|-------------------------------|-------------|--------------|----------------|-------|-------|--------------------|
| General Settings | | | | | | | General Settings | | | | | | |
| Sensitivity Analysis: | | | Off | | | | Sensitivity Analysis: | | | Off | | | |
| Probabilistic Analysis: | | | On | | | | Probabilistic Analysis: | | | On | | | |
| Spatial Variability Analysis: | | | Off | | | | Spatial Variability Analysis: | | | Off | | | |
| Sampling Method: | | | Monte-Carlo | | | | Sampling Method: | | | Monte-Carlo | | | |
| Number of Samples: | | | 5000 | | | | Number of Samples: | | | 5000 | | | |
| Analysis Type: | | | Global Minimum | | | | Analysis Type: | | | Global Minimum | | | |
| Variables | | | | | | | Variables | | | | | | |
| Material | Property | Distribution | Mean | Min | Max | Standard Deviation | Material | Property | Distribution | Mean | Min | Max | Standard Deviation |
| ARGILA ARENOSA | Cohesion | Normal | 15 | 3 | 27 | 6 | ARGILA ARENOSA | Cohesion | Normal | 15 | 3 | 27 | 6 |
| ARGILA ARENOSA | Phi | Normal | 22.7 | 0 | 45.4 | 11.35 | ARGILA ARENOSA | Phi | Normal | 22.7 | 0 | 45.4 | 11.35 |
| ARGILA ARENOSA | Unit Weight | Normal | 16 | 13.76 | 18.24 | 1.12 | ARGILA ARENOSA | Unit Weight | Normal | 16 | 13.76 | 18.24 | 1.12 |
| AREIA ARGILOSA | Cohesion | Normal | 5 | 1 | 9 | 2 | AREIA ARGILOSA | Cohesion | Normal | 5 | 1 | 9 | 2 |
| AREIA ARGILOSA | Phi | Normal | 25 | 20 | 30 | 2.5 | AREIA ARGILOSA | Phi | Normal | 25 | 20 | 30 | 2.5 |
| AREIA ARGILOSA | Unit Weight | Normal | 18 | 15.48 | 20.52 | 1.26 | AREIA ARGILOSA | Unit Weight | Normal | 18 | 15.48 | 20.52 | 1.26 |
| SILTE ARENO ARGILOSO | Cohesion | Normal | 15 | 3 | 27 | 6 | SILTE ARENO ARGILOSO | Cohesion | Normal | 15 | 3 | 27 | 6 |
| SILTE ARENO ARGILOSO | Phi | Normal | 26.8 | 21.44 | 32.16 | 2.68 | SILTE ARENO ARGILOSO | Phi | Normal | 26.8 | 21.44 | 32.16 | 2.68 |
| SILTE ARENO ARGILOSO | Unit Weight | Normal | 18 | 15.48 | 20.52 | 1.26 | SILTE ARENO ARGILOSO | Unit Weight | Normal | 18 | 15.48 | 20.52 | 1.26 |
| SILTE ARGILOSO | Cohesion | Normal | 20 | 4 | 36 | 8 | SILTE ARGILOSO | Cohesion | Normal | 20 | 4 | 36 | 8 |
| SILTE ARGILOSO | Phi | Normal | 31.1 | 0 | 62.2 | 15.55 | SILTE ARGILOSO | Phi | Normal | 31.1 | 0 | 62.2 | 15.55 |
| SILTE ARGILOSO | Unit Weight | Normal | 19 | 16.34 | 21.66 | 1.33 | SILTE ARGILOSO | Unit Weight | Normal | 19 | 16.34 | 21.66 | 1.33 |

| Support | Property | Distribution | Mean | Min | Max | Standard Deviation | Support | Property | Distribution | Mean | Min | Max | Standard Deviation |
|---------------|---------------|--------------|------|------|-------|--------------------|---------------|---------------|--------------|------|------|-------|--------------------|
| GRAMPO D100mm | Bond Strength | Normal | 29.4 | 5.88 | 52.92 | 11.76 | GRAMPO D100mm | Bond Strength | Normal | 29.4 | 5.88 | 52.92 | 11.76 |

Global Minimums

| L/H 1,2 - Global | | L/H 1,2 - Local 0,3H | | L/H 1,2 - Local 0,4H | | L/H 1,2 - Local Cunha | |
|------------------------------|---------------|------------------------------|---------------|------------------------------|---------------|------------------------------|----------------|
| Method: ordinary/fellenius | | Method: ordinary/fellenius | | Method: ordinary/fellenius | | Method: ordinary/fellenius | |
| FS | 1.602860 | FS | 2.521290 | FS | 2.870870 | FS | 4.236240 |
| Center: | 9.983, 13.278 | Axis Location: | 14.250, 9.000 | Axis Location: | 14.000, 9.500 | Axis Location: | 13.372, 10.756 |
| Radius: | 8.323 | Left Slip Surface Endpoint: | 8.500, 10.000 | Left Slip Surface Endpoint: | 8.000, 10.000 | Left Slip Surface Endpoint: | 6.744, 10.000 |
| Right Slip Surface Endpoint: | 10.850, 5.000 | Right Slip Surface Endpoint: | 10.000, 5.000 | Right Slip Surface Endpoint: | 10.000, 5.000 | Right Slip Surface Endpoint: | 10.000, 5.000 |
| Resisting Moment: | 3029.82 kN-m | Left Slope Intercept: | 8.500 10.000 | Left Slope Intercept: | 8.000 10.000 | Left Slope Intercept: | 6.744 10.000 |
| Driving Moment: | 1890.26 kN-m | Right Slope Intercept: | 10.000 | Right Slope Intercept: | 10.000 10.000 | Right Slope Intercept: | 10.000 10.000 |
| Active Support Moment: | -115.003 kN-m | Resisting Moment: | 1772.07 kN-m | Driving Moment: | 630.664 kN-m | Resisting Moment: | 1956.79 kN-m |
| Total Slice Area: | 27.951 m2 | Driving Moment: | 702.843 kN-m | Active Support Moment: | -145.476 kN-m | Driving Moment: | 461.917 kN-m |
| Surface Horizontal Width: | 8.51673 m | Active Support Moment: | 50.4073 kN-m | Total Slice Area: | 6.25 m2 | Active Support Moment: | -592.151 kN-m |
| Surface Average Height: | 3.28189 m | Total Slice Area: | 5.3125 m2 | Surface Horizontal Width: | 2 m | Total Slice Area: | 8.14 m2 |
| | | Surface Horizontal Width: | 1.5 m | Surface Average Height: | 3.125 m | Surface Horizontal Width: | 3.256 m |
| | | Surface Average Height: | 3.54167 m | | | Surface Average Height: | 2.5 m |

| Method: bishop simplified | | Method: bishop simplified | | Method: bishop simplified | | Method: bishop simplified | |
|------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|---------------------|------------------------------|---------------------|
| FS | 1.695880 | FS | 2.230690 | FS | 2.528350 | FS | 3.520200 |
| Center: | 9.983, 13.278 | Axis Location: | 14.250, 9.000 | Axis Location: | 14.000, 9.500 | Axis Location: | 13.372, 10.756 |
| Radius: | 8.323 | Left Slip Surface Endpoint: | 8.500, 10.000 | Left Slip Surface Endpoint: | 8.000, 10.000 | Left Slip Surface Endpoint: | 6.744, 10.000 |
| Left Slip Surface Endpoint: | 2.333, 10.000 | Right Slip Surface Endpoint: | 10.000, 5.000 | Right Slip Surface Endpoint: | 10.000, 5.000 | Right Slip Surface Endpoint: | 10.000, 5.000 |
| Right Slip Surface Endpoint: | 10.850, 5.000 | Left Slope Intercept: | 8.500 10.000 | Left Slope Intercept: | 8.000 10.000 | Left Slope Intercept: | 6.744 10.000 |
| Resisting Moment: | 3205.65 kN-m | Right Slope Intercept: | 10.000 | Right Slope Intercept: | 10.000 10.000 | Right Slope Intercept: | 10.000 10.000 |
| Driving Moment: | 1890.26 kN-m | Resisting Moment: | 1608.11 kN-m | Driving Moment: | 658.415 kN-m | Resisting Moment: | 1869.47 kN-m |
| Active Support Moment: | -115.003 kN-m | Driving Moment: | 720.901 kN-m | Active Support Moment: | -145.476 kN-m | Driving Moment: | 531.068 kN-m |
| Total Slice Area: | 27.951 m ² | Active Support Moment: | 50.4073 kN-m | Total Slice Area: | 6.25 m ² | Active Support Moment: | -592.151 kN-m |
| Surface Horizontal Width: | 8.51673 m | Total Slice Area: | 5.3125 m ² | Surface Horizontal Width: | 2 m | Total Slice Area: | 8.14 m ² |
| Surface Average Height: | 3.28189 m | Surface Horizontal Width: | 1.5 m | Surface Average Height: | 3.125 m | Surface Horizontal Width: | 3.256 m |
| | | Surface Average Height: | 3.54167 m | | | Surface Average Height: | 2.5 m |

Global Minimum Coordinates

| L/H 1,2 - Global | L/H 1,2 - Local 0,3H | L/H 1,2 - Local 0,4H | L/H 1,2 - Local Cunha | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|----------------------|-----------------------|-----|----|---|------|----|---|--------|----|--|---|---|---|----|---|------|----|---|--------|----|---|---|---|-------|----|----|---|--------|----|
| Method: ordinary/fellenius Method: ordinary/fellenius Method: ordinary/fellenius | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <table border="1"> <tr><th>X</th><th>Y</th></tr> <tr><td>8.5</td><td>10</td></tr> <tr><td>9</td><td>6.25</td></tr> <tr><td>10</td><td>5</td></tr> <tr><td>10.001</td><td>10</td></tr> </table> | X | Y | 8.5 | 10 | 9 | 6.25 | 10 | 5 | 10.001 | 10 | <table border="1"> <tr><th>X</th><th>Y</th></tr> <tr><td>8</td><td>10</td></tr> <tr><td>9</td><td>6.25</td></tr> <tr><td>10</td><td>5</td></tr> <tr><td>10.001</td><td>10</td></tr> </table> | X | Y | 8 | 10 | 9 | 6.25 | 10 | 5 | 10.001 | 10 | <table border="1"> <tr><th>X</th><th>Y</th></tr> <tr><td>6.744</td><td>10</td></tr> <tr><td>10</td><td>5</td></tr> <tr><td>10.001</td><td>10</td></tr> </table> | X | Y | 6.744 | 10 | 10 | 5 | 10.001 | 10 |
| X | Y | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8.5 | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | 6.25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10.001 | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| X | Y | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | 6.25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10.001 | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| X | Y | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6.744 | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10.001 | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| Method: bishop simplified | | Method: bishop simplified | | Method: bishop simplified | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|------|---------------------------|-----|---------------------------|---|------|----|---|--------|----|--|---|---|---|----|---|------|----|---|--------|----|---|---|---|-------|----|----|---|--------|----|--|--|--|
| <table border="1"> <tr><th>X</th><th>Y</th></tr> <tr><td>8.5</td><td>10</td></tr> <tr><td>9</td><td>6.25</td></tr> <tr><td>10</td><td>5</td></tr> <tr><td>10.001</td><td>10</td></tr> </table> | X | Y | 8.5 | 10 | 9 | 6.25 | 10 | 5 | 10.001 | 10 | <table border="1"> <tr><th>X</th><th>Y</th></tr> <tr><td>8</td><td>10</td></tr> <tr><td>9</td><td>6.25</td></tr> <tr><td>10</td><td>5</td></tr> <tr><td>10.001</td><td>10</td></tr> </table> | X | Y | 8 | 10 | 9 | 6.25 | 10 | 5 | 10.001 | 10 | <table border="1"> <tr><th>X</th><th>Y</th></tr> <tr><td>6.744</td><td>10</td></tr> <tr><td>10</td><td>5</td></tr> <tr><td>10.001</td><td>10</td></tr> </table> | X | Y | 6.744 | 10 | 10 | 5 | 10.001 | 10 | | | |
| X | Y | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8.5 | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | 6.25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10.001 | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| X | Y | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | 6.25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10.001 | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| X | Y | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6.744 | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10.001 | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Valid/Invalid Surfaces

| L/H 1,2 - Global | L/H 1,2 - Local 0,3H | L/H 1,2 - Local 0,4H | L/H 1,2 - Local Cunha |
|---|--|--|--|
| Method: ordinary/fellenius Method: ordinary/fellenius Method: ordinary/fellenius Method: ordinary/fellenius | | | |
| Number of Valid Surfaces: 3603 Number of Invalid Surfaces: 1397 | Number of Valid Surfaces: 1 Number of Invalid Surfaces: 0 | Number of Valid Surfaces: 1 Number of Invalid Surfaces: 0 | Number of Valid Surfaces: 1 Number of Invalid Surfaces: 0 |
| Error Codes | | | |
| <ul style="list-style-type: none"> ○ Error Code -103 reported for 3 surfaces ○ Error Code -107 reported for 11 surfaces ○ Error Code -114 reported for 1383 surfaces | | | |
| Method: bishop simplified | | Method: bishop simplified Method: bishop simplified | |
| Number of Valid Surfaces: 3603 Number of Invalid Surfaces: 1397 | Number of Valid Surfaces: 1 Number of Invalid Surfaces: 0 | Number of Valid Surfaces: 1 Number of Invalid Surfaces: 0 | Number of Valid Surfaces: 1 Number of Invalid Surfaces: 0 |
| Error Codes | | | |
| <ul style="list-style-type: none"> ○ Error Code -103 reported for 3 surfaces ○ Error Code -107 reported for 11 surfaces ○ Error Code -114 reported for 1383 surfaces | | | |

| L/H 1,2 - Global | L/H 1,2 - Local 0,3H | L/H 1,2 - Local 0,4H | L/H 1,2 - Local Cunha |
|---|--|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> Method: ordinary/fellenius Factor of Safety, mean: 1.609866 Factor of Safety, standard deviation: 0.139070 Factor of Safety, minimum: 1.151160 Factor of Safety, maximum: 2.113220 Probability of Failure: 0.000% (= 0 failed surfaces / 5000 valid surfaces) Reliability index: 4.38532 (assuming normal distribution) Reliability index: 5.47905 (assuming lognormal distribution) <ul style="list-style-type: none"> * best fit = Beta Method: bishop simplified Factor of Safety, mean: 1.699855 Factor of Safety, standard deviation: 0.143479 Factor of Safety, minimum: 1.232020 Factor of Safety, maximum: 2.216540 Probability of Failure: 0.000% (= 0 failed surfaces / 5000 valid surfaces) Reliability index: 4.87777 (assuming normal distribution) Reliability index: 6.25462 (assuming lognormal distribution) <ul style="list-style-type: none"> * best fit = Beta | <ul style="list-style-type: none"> Method: ordinary/fellenius Factor of Safety, mean: 2.501986 Factor of Safety, standard deviation: 0.363915 Factor of Safety, minimum: 1.478290 Factor of Safety, maximum: 3.816230 Probability of Failure: 0.000% (= 0 failed surfaces / 5000 valid surfaces) Reliability index: 4.12730 (assuming normal distribution) Reliability index: 6.26594 (assuming lognormal distribution) <ul style="list-style-type: none"> * best fit = Beta Method: bishop simplified Factor of Safety, mean: 2.192637 Factor of Safety, standard deviation: 0.359239 Factor of Safety, minimum: 1.195950 Factor of Safety, maximum: 3.294370 Probability of Failure: 0.000% (= 0 failed surfaces / 4548 valid surfaces), 452 invalid surfaces Reliability index: 3.31990 (assuming normal distribution) * best fit = Normal Reliability index: 4.74247 (assuming lognormal distribution) | <ul style="list-style-type: none"> Method: ordinary/fellenius Factor of Safety, mean: 2.815693 Factor of Safety, standard deviation: 0.587839 Factor of Safety, minimum: 1.370800 Factor of Safety, maximum: 4.705480 Probability of Failure: 0.000% (= 0 failed surfaces / 5000 valid surfaces) Reliability index: 3.08876 (assuming normal distribution) Reliability index: 4.90864 (assuming lognormal distribution) <ul style="list-style-type: none"> * best fit = Beta Method: bishop simplified Factor of Safety, mean: 2.482684 Factor of Safety, standard deviation: 0.550871 Factor of Safety, minimum: 1.155280 Factor of Safety, maximum: 4.114490 Probability of Failure: 0.000% (= 0 failed surfaces / 5000 valid surfaces) Reliability index: 2.69153 (assuming normal distribution) Reliability index: 4.03837 (assuming lognormal distribution) <ul style="list-style-type: none"> * best fit = Beta | <ul style="list-style-type: none"> Method: ordinary/fellenius Factor of Safety, mean: 4.671505 Factor of Safety, standard deviation: 2.206577 Factor of Safety, minimum: 1.260630 Factor of Safety, maximum: 12.688300 Probability of Failure: 0.000% (= 0 failed surfaces / 5000 valid surfaces) Reliability index: 1.66389 (assuming normal distribution) Reliability index: 3.21048 (assuming lognormal distribution) <ul style="list-style-type: none"> * best fit = Beta Method: bishop simplified Factor of Safety, mean: 3.713203 Factor of Safety, standard deviation: 1.484208 Factor of Safety, minimum: 1.133280 Factor of Safety, maximum: 8.790360 Probability of Failure: 0.000% (= 0 failed surfaces / 5000 valid surfaces) Reliability index: 1.82805 (assuming normal distribution) Reliability index: 3.21507 (assuming lognormal distribution) <ul style="list-style-type: none"> * best fit = Beta |

Entity Information

Group: L/H 1,2

Shared Entities

| Type | Coordinates | |
|-------------------|-------------|-----|
| | X | Y |
| External Boundary | 20 | 0 |
| | 20 | 2 |
| | 20 | 5 |
| | 10 | 5 |
| | 10 | 5.8 |
| | 10 | 7 |
| | 10 | 8.2 |
| | 10 | 9.4 |
| | 10 | 10 |
| | 9.85 | 10 |
| | 0 | 10 |
| | 0 | 8 |
| | 0 | 5 |
| 0 | 2 | |
| 0 | 0 | |
| Material Boundary | 9.85 | 10 |
| | 9.85 | 8 |
| | 9.85 | 5 |
| | 10 | 5 |
| Material Boundary | X | Y |

| | | |
|-------------------|------|---|
| Material Boundary | 0 | 8 |
| | 9.85 | 8 |
| Material Boundary | X | Y |
| | 0 | 5 |
| Material Boundary | 9.85 | 5 |
| | X | Y |
| Material Boundary | 0 | 2 |
| | 20 | 2 |

Scenario-based Entities

| Type | Coordinates | Global | Local 0,3H | Local 0,4H | Local Cunha |
|------------------------------|-------------|--|--|--|--|
| Distributed Load | X Y | Constant Distribution Orientation: Normal to boundary Magnitude: 20 kN/m2 Creates Excess Pore Pressure: No | Constant Distribution Orientation: Normal to boundary Magnitude: 20 kN/m2 Creates Excess Pore Pressure: No | Constant Distribution Orientation: Normal to boundary Magnitude: 20 kN/m2 Creates Excess Pore Pressure: No | Constant Distribution Orientation: Normal to boundary Magnitude: 20 kN/m2 Creates Excess Pore Pressure: No |
| | 10 10 | | | | |
| Non-Circular Failure Surface | 9.85 10 | X | ✓ | X | X |
| | 0 10 | | | | |
| | 8.5 10 | | | | |
| Non-Circular Failure Surface | 9 6.25 | X | X | ✓ | X |
| | 10 5 | | | | |
| | 8 10 | | | | |
| Non-Circular Failure Surface | 9 6.25 | X | X | X | ✓ |
| | 10 5 | | | | |
| | 6.744 10 | | | | |
| Non-Circular Failure Surface | 10 5 | X | X | X | ✓ |

APÊNDICE F – Relatórios da análise de deslocamentos das escavações

Phase2 Analysis Information

TCC - 0,8 CTE

Project Summary

File Name: TCC - 0,8 CTE
Last saved with Phase2 version: 9.023
Project Title: Project1

General Settings

Number of Stages: 5
Analysis Type: Plane Strain
Solver Type: Gaussian Elimination
Units: Metric, stress as kPa
Permeability Units: meters/second
Time Units: seconds

Analysis Options

Maximum Number of Iterations: 10000
Tolerance: 0.001
Number of Load Steps: Automatic
Convergence Type: Absolute Energy
Tensile Failure: Reduces Shear Strength
Joint tension reduces joint stiffness by a factor of 0.01

Groundwater Analysis

Method: Piezometric Lines
Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m³
Probability: None

Field Stress

Field stress: Constant
Sigma one: 10 kPa (compression positive)
Sigma three: 8 kPa (compression positive)
Sigma Z: 10 kPa (compression positive)
Angle from the horizontal to sigma 1: 0 degrees (counter-clockwise)

Mesh

Mesh type: Graded
Element type: 8 Noded quadrilaterals

| Stage Name | # of Elements | # of Nodes |
|----------------------------|---------------|------------|
| 1. Inicial - Sem escavação | 3086 | 9479 |
| 2. Passo 1 | 2834 | 8723 |
| 3. Passo 2 | 2582 | 7967 |
| 4. Passo 3 | 2330 | 7211 |
| 5. Passo 4 | 2078 | 6455 |

Mesh Quality

All elements are of good quality

Poor quality elements defined as:

- Side length ratio (maximum / minimum) > 30.00
- Minimum interior angle < 2.0 degrees
- Maximum interior angle > 175.0 degrees

Areas of Excavated and Filled Elements

2. Passo 1

Material: ARGILA ARENOSA 12.000 m²

3. Passo 2

Material: ARGILA ARENOSA 8.120 m²

Material: AREIA ARGILOSA 4.060 m²

Material: CONCRETO PROJETADO Area Filled: 0.180 m²

4. Passo 3

Material: AREIA ARGILOSA 12.180 m²

Material: CONCRETO PROJETADO Area Filled: 0.180 m²

5. Passo 4

Material: AREIA ARGILOSA 14.210 m²

Material: CONCRETO PROJETADO Area Filled: 0.210 m²

Excavation Areas

Original Un-deformed Areas

- External Boundary Area: 200.000 m²
- External Boundary Perimeter: 60.000 m

1. Inicial - Sem escavação

- External Boundary Area: 199.180 m² (-0.819655 m² change from original area)
- External Boundary Perimeter: 59.918 m (-0.0821917 m change from original perimeter)

2. Passo 1

- External Boundary Area: 199.515 m² (-0.485469 m² change from original area)
- External Boundary Perimeter: 59.954 m (-0.0462073 m change from original perimeter)

3. Passo 2

- External Boundary Area: 199.504 m² (-0.495723 m² change from original area)
- External Boundary Perimeter: 59.954 m (-0.0463181 m change from original perimeter)

4. Passo 3


- External Boundary Area: 199.484 m² (-0.515798 m² change from original area)
- External Boundary Perimeter: 59.954 m (-0.045677 m change from original perimeter)

5. Passo 4


- External Boundary Area: 199.464 m² (-0.536294 m² change from original area)
- External Boundary Perimeter: 59.954 m (-0.0460006 m change from original perimeter)

Material Properties


Material: ARGILA ARENOSA

| | |
|---------------------------|---|
| Color |  |
| Initial element loading | field stress & body force |
| Unit weight | 16 kN/m ³ |
| Elastic type | isotropic |
| Young's modulus | 6300 kPa |
| Poisson's ratio | 0.2 |
| Failure criterion | Mohr-Coulomb |
| Is Jointed | No |
| Peak tensile strength | 0 kPa |
| Residual tensile strength | 0 kPa |
| Peak friction angle | 22.7 degrees |
| Peak cohesion | 15 kPa |
| Material type | Plastic |
| Dilation Angle | 0 degrees |
| Residual Friction Angle | 22.7 degrees |
| Residual Cohesion | 15 kPa |
| Piezo to use | None |
| Ru value | 0 |


Material: AREIA ARGILOSA

| | |
|---------------------------|---|
| Color |  |
| Initial element loading | field stress & body force |
| Unit weight | 18 kN/m ³ |
| Elastic type | isotropic |
| Young's modulus | 8250 kPa |
| Poisson's ratio | 0.3 |
| Failure criterion | Mohr-Coulomb |
| Is Jointed | No |
| Peak tensile strength | 0 kPa |
| Residual tensile strength | 0 kPa |
| Peak friction angle | 25 degrees |
| Peak cohesion | 5 kPa |
| Material type | Plastic |
| Dilation Angle | 0 degrees |
| Residual Friction Angle | 25 degrees |
| Residual Cohesion | 5 kPa |
| Piezo to use | None |
| Ru value | 0 |


Material: SILTE ARENO ARGILOSO

| | |
|---------------------------|---|
| Color |  |
| Initial element loading | field stress & body force |
| Unit weight | 18 kN/m ³ |
| Elastic type | isotropic |
| Young's modulus | 15750 kPa |
| Poisson's ratio | 0.4 |
| Failure criterion | Mohr-Coulomb |
| Is Jointed | No |
| Peak tensile strength | 0 kPa |
| Residual tensile strength | 0 kPa |
| Peak friction angle | 26.8 degrees |
| Peak cohesion | 15 kPa |
| Material type | Plastic |
| Dilation Angle | 0 degrees |
| Residual Friction Angle | 26.8 degrees |
| Residual Cohesion | 15 kPa |
| Piezo to use | None |
| Ru value | 0 |


Material: SILTE ARGILOSO

| | |
|---------------------------|---|
| Color |  |
| Initial element loading | field stress & body force |
| Unit weight | 19 kN/m ³ |
| Elastic type | isotropic |
| Young's modulus | 16250 kPa |
| Poisson's ratio | 0.4 |
| Failure criterion | Mohr-Coulomb |
| Is Jointed | No |
| Peak tensile strength | 0 kPa |
| Residual tensile strength | 0 kPa |
| Peak friction angle | 35 degrees |
| Peak cohesion | 10.5 kPa |
| Material type | Plastic |
| Dilation Angle | 0 degrees |
| Residual Friction Angle | 35 degrees |
| Residual Cohesion | 10.5 kPa |
| Piezo to use | None |
| Ru value | 0 |

Material: CONCRETO PROJETADO

| | |
|---------------------------|---|
| Color |  |
| Initial element loading | field stress & body force |
| Unit weight | 25 kN/m ³ |
| Elastic type | isotropic |
| Young's modulus | 2e+007 kPa |
| Poisson's ratio | 0.2 |
| Failure criterion | Mohr-Coulomb |
| Is Jointed | No |
| Peak tensile strength | 0 kPa |
| Residual tensile strength | 0 kPa |
| Peak friction angle | 50 degrees |
| Peak cohesion | 300 kPa |
| Material type | Elastic |
| Piezo to use | None |
| Ru value | 0 |

Bolt Properties

| | |
|----------------------------|---|
| Bolt name | GRAMPO |
| Color |  |
| Bolt Type | Fully bonded bolt |
| Diameter | 100 mm |
| Young's modulus | 2.209e+007 kPa |
| Tensile capacity | 136.6 kN |
| Residual Tensile capacity | 136.6 kN |
| Pre-tensioning | 0 kN |
| Pre-tensioning force | Constant in install stage |
| Out-of-plane spacing | 1.2 m |
| Allow Joints to Shear Bolt | Yes |

Displacements

| | |
|--|-------------|
| Maximum total displacement for 1. Inicial - Sem escavação: | 0.0490503 m |
| Maximum total displacement for 2. Passo 1: | 0.0499172 m |
| Maximum total displacement for 3. Passo 2: | 0.0507251 m |
| Maximum total displacement for 4. Passo 3: | 0.0540863 m |
| Maximum total displacement for 5. Passo 4: | 0.0583307 m |

Yielded Elements**Yielded Mesh Elements**

| | |
|--|-----|
| Number of yielded mesh elements on 1. Inicial - Sem escavação: | 0 |
| Number of yielded mesh elements on 2. Passo 1: | 15 |
| Number of yielded mesh elements on 3. Passo 2: | 47 |
| Number of yielded mesh elements on 4. Passo 3: | 92 |
| Number of yielded mesh elements on 5. Passo 4: | 210 |

List of All Coordinates**External boundary**

| X | Y |
|------|-----|
| 20 | 0 |
| 20 | 2 |
| 20 | 5 |
| 20 | 6.4 |
| 20 | 7.6 |
| 20 | 8 |
| 20 | 8.8 |
| 20 | 10 |
| 10 | 10 |
| 9.85 | 10 |
| 0 | 10 |
| 0 | 8 |
| 0 | 5 |
| 0 | 2 |
| 0 | 0 |

Stage boundary

| X | Y |
|----|-----|
| 10 | 8.8 |
| 20 | 8.8 |

Stage boundary

| X | Y |
|----|-----|
| 10 | 7.6 |
| 20 | 7.6 |

Stage boundary

| X | Y |
|----|-----|
| 10 | 6.4 |
| 20 | 6.4 |

Material boundary

| X | Y |
|------|---|
| 0 | 5 |
| 9.85 | 5 |

Material boundary

| X | Y |
|----|---|
| 0 | 2 |
| 20 | 2 |

Material boundary

| X | Y |
|------|-----|
| 9.85 | 10 |
| 9.85 | 8.8 |
| 9.85 | 8 |
| 9.85 | 7.6 |
| 9.85 | 6.4 |
| 9.85 | 5 |
| 10 | 5 |
| 10 | 6.4 |
| 10 | 7.6 |
| 10 | 8 |
| 10 | 8.8 |
| 10 | 10 |

Material boundary

| X | Y |
|----|---|
| 10 | 5 |
| 20 | 5 |

Material boundary

| X | Y |
|------|---|
| 9.85 | 8 |
| 0 | 8 |

Material boundary

| X | Y |
|----|---|
| 10 | 8 |
| 20 | 8 |

Material boundary

| X | Y |
|------|-----|
| 10 | 8.8 |
| 9.85 | 8.8 |

Material boundary

| X | Y |
|------|-----|
| 10 | 7.6 |
| 9.85 | 7.6 |

Material boundary

| X | Y |
|------|-----|
| 10 | 6.4 |
| 9.85 | 6.4 |

Material boundary

| X | Y |
|------|---|
| 10 | 8 |
| 9.85 | 8 |

APÊNDICE G – Quantitativo e custo dos materiais

ESTIMATIVA CUSTOS

MACIÇO REFORÇADO 1 – L/H = 0,8 e Comprimento dos grampos CONSTANTE

LEVANTAMENTO DE MATERIAIS

1) Aço CA-50 Ø 20 mm – Chumbadores

32 grampos × 4 m/grampo = 128,00 m de chumbadores

128,00 m × 2,466 kg/m = **315,65 kg**

2) Tubo de PVC marrom - rígido Ø 1" - Confeção de espaçadores (1 a cada 1,5 m)

128 m de chumbadores ÷ 1,5 peça/metro de chumbador = 85,33 peças

85,33 peças × 0,2 m (comprimento do espaçador) = 17,07 m de tubo

17 m ÷ 6 m/barra = **2,84 barras**

3) Tinta epóxi - Resina XR (pintura de 100 m de barra por conjunto)

128 m de chumbador ÷ 100 m = **1,28 conjuntos**

4) Tubo de injeção Ø 11 mm "espaguete" (3 tubos por barra, em toda extensão)

128 m de chumbador × 3 = 384 m de espaguete → **3,84 rolos** de 100 m

• CIMENTO PARA BAINHA + INJEÇÃO

Bainha (para 6 m de chumbador, 1,0 saco de cimento)

128 m de chumbador × 0,17 sacos/m de chumbador = 21,33 sacos de cimento

Injeções (para 6 m de chumbador, 1,0 saco de cimento)

128 m de chumbador × 0,17 sacos/m de chumbador = 21,33 sacos de cimento

Total

21,33 + 21,33 = 42,66 sacos de cimento (bainha + injeções)

• CONCRETO PROJETADO (incluindo 40 % de reflexão)

Paramento

- Espessura: 15 cm
- Extensão: 10 m
- Altura: 5 m

Área paramento: 10 × 5 = 50 m²

Volume previsto: 50 × 0,15 + 40 % = 10,5 m³ (incluída reflexão)

- Cimento: 7 sacos/m³ × 10,5 m³ = 73,5 sacos de cimento
- Areia: 0,746 m³ areia/m³ × 10,5 m³ = 7,83 m³ de areia
- Pedrisco: 0,535 m³ pedrisco/m³ × 10,5 m³ = 5,62 m³ de pedrisco

• ARGAMASSA PARA ACABAMENTO (traço 1 : 5,5, incluindo perda de 30 %)

Espessura acabamento: 1 cm

Volume: 50 m² × 0,01 m × 1,3 (perda) = 0,650 m³

- Cimento: 5,5 sacos/m³ × 0,650 m³ = 3,575 sacos de cimento
 - Areia: 1,0 m³ areia/m³ × 0,650 m³ = 0,650 m³ de areia
-

5) Cimento

42,66 + 73,5 + 3,575 = **119,74 sacos** de cimento

6) Areia

7,83 + 0,65 = **8,48 m³** de areia

7) Pedrisco

5,62 m³ de pedrisco

8) Fibra sintética (Polietileno) - 6 kg/m³

6 kg fibra/m³ × 10,5 m³ = **63,00 kg** de fibra sintética

9) Tubo de PVC branco - esgoto Ø 40 mm (DHP's)

1 DHP a cada 2,5 m de paramento, 6 m de comprimento cada

10 m comprimento ÷ 2,5 m = 4 DHP's

6 m comprimento × 4 = 24 m de tubo

24 m tubo ÷ 6 m/barra = **4 barras**

10) Fita drenante (MacDrain V - Maccaferri)

Área paramento: 50 m²

Comprimento fita drenante: (50 m² × 1 m / m²) × 1,1 (trespasse) = 55 m

1 rolo = 200 m : **0,275 rolo**

11) Aditivo (Rapidíssimo Vedassete)

Rendimento: 0,5 sacos/m³

0,5 sc/m³ × 10,5 m³ (concr. projetado) = **5,250 sacos**

12) Pincel 2" (1 para cada 3 conjuntos de resina XR)

1,28 conjuntos de resina XR → **0,427 unidades** de pincel

13) Thinner (1 litro para cada 10 cj de resina XR)

1,28 conjuntos de resina XR → **0,13 litros** de thinner

14) Prego 19 x 36 (1,0 kg por rolo de macdrain)

0,275 rolos de macdrain → **0,275 kg** de prego

PLANILHA ESTIMATIVA DE CUSTOS DOS MATERIAIS

| ITEM | DESCRIÇÃO | UNID. | QUANT. | PREÇO UNIT. | PREÇO TOTAL |
|------|-------------------------|-------|---------|-------------|--------------|
| 1 | Aço CA-50 Ø 20 mm | kg | 315,648 | 3,05 | R\$ 962,73 |
| 2 | Tubo de PVC rígido Ø 1" | barra | 2,844 | 11,45 | R\$ 32,57 |
| 3 | Tinta Epoxi (A e B) | conj. | 1,280 | 89,80 | R\$ 114,94 |
| 4 | Tubo de injeção Ø 11 mm | rolo | 3,840 | 20,00 | R\$ 76,80 |
| 5 | Cimento | sc | 119,742 | 16,80 | R\$ 2.011,66 |
| 6 | Areia | m³ | 8,483 | 69,00 | R\$ 585,33 |
| 7 | Pedrisco | m³ | 5,618 | 71,00 | R\$ 398,84 |
| 8 | Fibra sintética | kg | 63,000 | 13,47 | R\$ 848,61 |
| 9 | Tubo de PVC Ø 40 mm | barra | 4,000 | 17,69 | R\$ 70,76 |
| 10 | Fita drenante | rolo | 0,275 | 520,00 | R\$ 143,00 |
| 11 | Aditivo (Rapidíssimo) | sc | 5,250 | 62,60 | R\$ 328,65 |
| 12 | Pincel | unid. | 0,427 | 7,00 | R\$ 2,99 |
| 13 | Thinner | l | 0,128 | 10,00 | R\$ 1,28 |
| 14 | Prego 19 x 36 | kg | 0,275 | 15,00 | R\$ 4,13 |
| | | | | Total | R\$ 5.582,28 |

| | |
|-----------------|-------------------|
| Área Total (m²) | 50,00 |
| Custo por m² | R\$ 111,65 |

| | |
|--------------------|------------|
| Comprimento talude | 10,00 m |
| Custo por m | R\$ 558,23 |

ESTIMATIVA CUSTOS

MACIÇO REFORÇADO 2 – L/H = 1,2 e Comprimento dos grampos VARIÁVEL

LEVANTAMENTO DE MATERIAIS

1) Aço CA-50 Ø 20 mm – Chumbadores

148,8 m de chumbadores

$148,8 \text{ m} \times 2,466 \text{ kg/m} = \boxed{366,94 \text{ kg}}$

2) Tubo de PVC marrom - rígido Ø 1" - Confeção de espaçadores (1 a cada 1,5 m)

$148,8 \text{ m de chumbadores} \div 1,5 \text{ peça/metro de chumbador} = 99,20 \text{ peças}$

$99,2 \text{ peças} \times 0,2 \text{ m (comprimento do espaçador)} = 19,84 \text{ m de tubo}$

$19,84 \text{ m} \div 6 \text{ m/barra} = \boxed{3,31 \text{ barras}}$

3) Tinta epóxi - Resina XR (pintura de 100 m de barra por conjunto)

$148,8 \text{ m de chumbador} \div 100 \text{ m} = \boxed{1,488 \text{ conjuntos}}$

4) Tubo de injeção Ø 11 mm "espaguete" (3 tubos por barra, em toda extensão)

$148,8 \text{ m de chumbador} \times 3 = 466,4 \text{ m de espaguete} \rightarrow \boxed{4,464 \text{ rolos}}$ de 100 m

• CIMENTO PARA BAINHA + INJEÇÃO

Bainha (para 6 m de chumbador, 1,0 saco de cimento)

$128 \text{ m de chumbador} \times 0,17 \text{ sacos/m de chumbador} = 24,80 \text{ sacos de cimento}$

Injeções (para 6 m de chumbador, 1,0 saco de cimento)

$128 \text{ m de chumbador} \times 0,17 \text{ sacos/m de chumbador} = 24,80 \text{ sacos de cimento}$

Total

$24,80 + 24,8 = 49,60 \text{ sacos de cimento (bainha + injeções)}$

• CONCRETO PROJETADO (incluindo 40 % de reflexão)

Paramento

- Espessura: 15 cm
- Extensão: 10 m
- Altura: 5 m

Área paramento: $10 \times 5 = 50 \text{ m}^2$

Volume previsto: $50 \times 0,15 + 40 \% = 10,5 \text{ m}^3$ (incluída reflexão)

- Cimento: $7 \text{ sacos/m}^3 \times 10,5 \text{ m}^3 = 73,5 \text{ sacos de cimento}$
- Areia: $0,746 \text{ m}^3 \text{ areia/m}^3 \times 10,5 \text{ m}^3 = 7,83 \text{ m}^3 \text{ de areia}$
- Pedrisco: $0,535 \text{ m}^3 \text{ pedrisco/m}^3 \times 10,5 \text{ m}^3 = 5,62 \text{ m}^3 \text{ de pedrisco}$

• ARGAMASSA PARA ACABAMENTO (traço 1 : 5,5, incluindo perda de 30 %)

Espessura acabamento: 1 cm

Volume: $50 \text{ m}^2 \times 0,01 \text{ m} \times 1,3 \text{ (perda)} = 0,650 \text{ m}^3$

- Cimento: $5,5 \text{ sacos/m}^3 \times 0,650 \text{ m}^3 = 3,575 \text{ sacos de cimento}$
 - Areia: $1,0 \text{ m}^3 \text{ areia/m}^3 \times 0,650 \text{ m}^3 = 0,650 \text{ m}^3 \text{ de areia}$
-

5) Cimento

$42,66 + 73,5 + 3,575 = \boxed{126,68 \text{ sacos}}$ de cimento

6) Areia

$7,83 + 0,65 = \boxed{8,48 \text{ m}^3}$ de areia

7) Pedrisco

$\boxed{5,62 \text{ m}^3}$ de pedrisco

8) Fibra sintética (Polietileno) - 6 kg/m³

$6 \text{ kg fibra/m}^3 \times 10,5 \text{ m}^3 = \boxed{63,00 \text{ kg}}$ de fibra sintética

9) Tubo de PVC branco - esgoto Ø 40 mm (DHP's)

1 DHP a cada 2,5 m de paramento, 6 m de comprimento cada

$10 \text{ m comprimento} \div 2,5 \text{ m} = 4 \text{ DHP's}$

$6 \text{ m comprimento} \times 4 = 24 \text{ m de tubo}$

$24 \text{ m tubo} \div 6 \text{ m/barra} = \boxed{4 \text{ barras}}$

10) Fita drenante (MacDrain V - Maccaferri)

Área paramento: 50 m^2

Comprimento fita drenante: $(50 \text{ m}^2 \times 1 \text{ m} / \text{m}^2) \times 1,1 \text{ (trespasse)} = 55 \text{ m}$

$1 \text{ rolo} = 200 \text{ m} \therefore \boxed{0,275 \text{ rolo}}$

11) Aditivo (Rapidíssimo Vedassete)

Rendimento: $0,5 \text{ sacos/m}^3$

$0,5 \text{ sc/m}^3 \times 10,5 \text{ m}^3 \text{ (concr. projetado)} = \boxed{5,250 \text{ sacos}}$

12) Pincel 2" (1 para cada 3 conjuntos de resina XR)

$1,488 \text{ conjuntos de resina XR} \rightarrow \boxed{0,496 \text{ unidades}}$ de pincel

13) Thinner (1 litro para cada 10 cj de resina XR)

$1,488 \text{ conjuntos de resina XR} \rightarrow \boxed{0,13 \text{ litros}}$ de thinner

14) Prego 19 x 36 (1,0 kg por rolo de macdrain)

$0,275 \text{ rolos de macdrain} \rightarrow \boxed{0,275 \text{ kg}}$ de prego

PLANILHA ESTIMATIVA DE CUSTOS DOS MATERIAIS

| ITEM | DESCRIÇÃO | UNID. | QUANT. | PREÇO UNIT. | PREÇO TOTAL |
|-------|-------------------------|-------|---------|-------------|--------------|
| 1 | Aço CA-50 Ø 20 mm | kg | 366,941 | 3,05 | R\$ 1.119,17 |
| 2 | Tubo de PVC rígido Ø 1" | barra | 3,307 | 11,45 | R\$ 37,86 |
| 3 | Tinta Epoxi (A e B) | conj. | 1,488 | 89,80 | R\$ 133,62 |
| 4 | Tubo de injeção Ø 11 mm | rolo | 4,464 | 20,00 | R\$ 89,28 |
| 5 | Cimento | sc | 126,675 | 16,80 | R\$ 2.128,14 |
| 6 | Areia | m³ | 8,483 | 69,00 | R\$ 585,33 |
| 7 | Pedrisco | m³ | 5,618 | 71,00 | R\$ 398,84 |
| 8 | Fibra sintética | kg | 63,000 | 13,47 | R\$ 848,61 |
| 9 | Tubo de PVC Ø 40 mm | barra | 4,000 | 17,69 | R\$ 70,76 |
| 10 | Fita drenante | rolo | 0,275 | 520,00 | R\$ 143,00 |
| 11 | Aditivo (Rapidíssimo) | sc | 5,250 | 62,60 | R\$ 328,65 |
| 12 | Pincel | unid. | 0,496 | 7,00 | R\$ 3,47 |
| 13 | Thinner | l | 0,149 | 10,00 | R\$ 1,49 |
| 14 | Prego 19 x 36 | kg | 0,275 | 15,00 | R\$ 4,13 |
| Total | | | | | R\$ 5.892,35 |

| | |
|-----------------|-------------------|
| Area Total (m²) | 50,00 |
| Custo por m² | R\$ 117,85 |

| | |
|--------------------|------------|
| Comprimento talude | 10,00 |
| Custo por m | R\$ 589,23 |